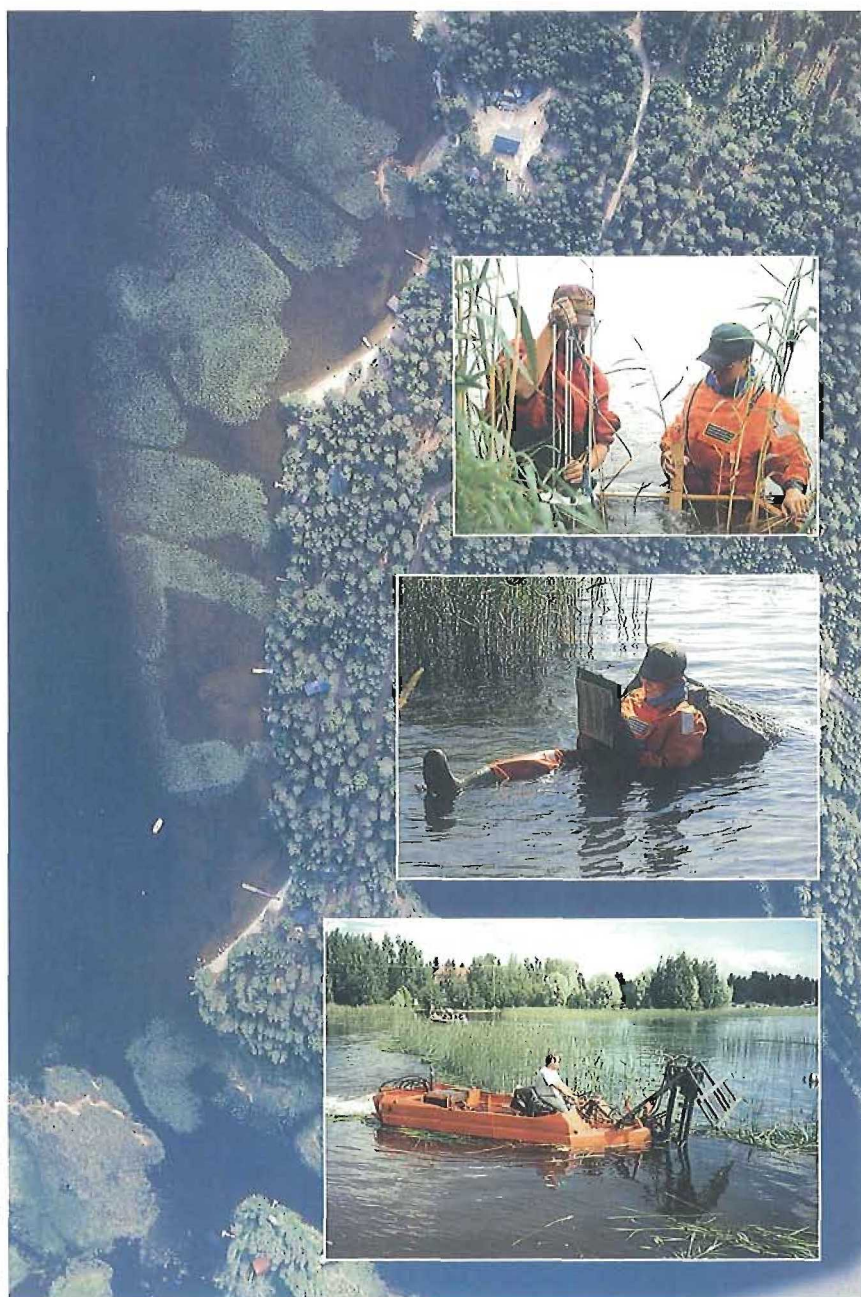


LUONTO JA
LUONNONVARAT

Seppo Hellsten (toim.)

Päijänteen säännöstelyn kehittäminen

Rantavyöhykkeen tila ja siihen vaikuttavat tekijät



Seppo Hellsten (toim.)

Päijänteiden säännöstelyn kehittäminen

Rantavyöhykkeen tila ja siihen vaikuttavat tekijät

HELSINKI 2000



Painotuote

ISBN 952-11-0673-5

ISSN 1238-7312

Suomen ympäristö 394

Taitto: Kari Kilpeläinen

Kannen kuvat:

Ilmakuva Pääjärven rantavyöhykkeestä: Jari Venetvaara

Tutkijat maastossa: Kirsi Viikilä

Tutkija maastossa: Kirsi Viikilä

Vesikasvillisuuden niitto: Mika Marttunen

Paina: EDITA Helsinki 2000

Sisällys

| | |
|---|-----------|
| I Tutkimuksen tavoitteet ja sisältö | 7 |
| (Palomäki, R., Hellsten, S. ja Marttunen, M.) | |
| 1.1 Tutkimuksen tavoite | 7 |
| 1.2 Tutkimushypoteesit | 8 |
| 1.3 Liittymäkohdat muihin tutkimuksiin | 10 |
| 1.3.1 Ruovikoiden ekologia | 10 |
| 1.3.2 Ruovikoiden leviäminen | 11 |
| 1.3.3 Kasvillisuus seuranta | 11 |
| 1.3.4 Rantavyöhykkeen pohjaeläimistö | 11 |
| 1.3.5 Haukitutkimus | 12 |
| 1.3.6 Virkistyskäyttötutkimus | 12 |
| 1.3.7 Metsäteollisuuden vaikutukset | 12 |
| 2. Päättökäsimusalueiden yleiskuvaus | 13 |
| (Suoraniemi, M. ja Hellsten, S.) | |
| 2.1 Päijänne | 13 |
| 2.2 Keski-Keitele vertailujärvenä | 15 |
| 3. Aineisto ja menetelmät | 17 |
| 3.1 Aikaisemmat kasvistotutkimukset | 17 |
| 3.2 Kasvillisuustutkimukset 1996 ja 1997 | 17 |
| 3.2.1 Tutkimuslinjojen valinta | 17 |
| 3.2.2 Maastotutkimukset | 18 |
| 3.2.3 Kasvillisuusaineiston käsittely | 20 |
| 3.2.3.1 Kasvillisuusindeksin laskenta | 20 |
| 3.2.3.2 Strategiaindeksin laskenta | 21 |
| 3.2.3.3 Kasviston luokittelu rehevöitymisen suhteen | 21 |
| 3.2.3.4 Kasviston luokittelu umpeenkasvun mukaan | 22 |
| 3.3 Rantavyöhykkeen kasvipeitteeseen vaikuttavat tekijät | 23 |
| 3.3.1 Yleiset taustamuuttujat | 23 |
| 3.3.1.1 Rannan kaltevuus | 23 |
| 3.3.1.2 Avoimuus | 23 |
| 3.3.1.3 Muoto | 24 |
| 3.3.1.4 Kaltevuuden, fetchin ja muodon korrelaatiotestit ja järven eri osien vertailu | 24 |
| 3.3.2 Vedenkorkeuden vaihtelu | 24 |
| 3.3.3 Pohjan jäätymisen laskenta | 25 |
| 3.3.4 Maankohoamisnopeus | 25 |
| 3.3.5 Valuma-alueen ominaisuudet | 26 |
| 3.3.6 Lähialueen veden laatu | 27 |
| 3.4 Elinympäristöjen kartoitus | 27 |
| 3.4.1 Tutkimusalueiden otanta | 27 |
| 3.4.2 Ilmakuvaus | 28 |
| 3.4.3 Maastomittaukset | 28 |
| 3.4.4 Karttamittaukset | 29 |
| 3.4.5 Vanhojen ilmakuvien tulkinta | 29 |
| 3.5 Rantavyöhykkeen pohjaeläimistötutkimukset | 29 |
| 3.5.1 Aikaisemmat pohjaeläintutkimukset | 29 |
| 3.5.2 Tutkimusalue | 30 |
| 3.5.3 Kerätty pohjaeläinnäytesarja ja käytetyt taustamuuttujat | 30 |
| 3.5.4 Eri elinympäristötyyppien pohjaeläinbiomassan laskenta | 31 |

| | |
|---|-----------|
| 3.6 Yhteenveto mitatuista rantavyöhykkeen muuttujista | 31 |
| 4 Rantavyöhykkeen kasviston ja kasvillisuuden kehittyminen 1950-luvulta 1990-luvulle | 33 |
| (Suoraniemi, M., Pogreboff, S., Partanen, S. ja Hellsten, S.) | |
| 4.1 Päijänteen vedenlaadun kehityksestä | 33 |
| 4.2 Päijänteen ranta- ja vesikasviston kehittyminen | 35 |
| 4.2.1 Muutokset vuodesta 1951-53 vuoteen 1974-75 | 35 |
| 4.2.2 Muutokset vuodesta 1974-75 vuoteen 1996 | 36 |
| 4.3 Päijänteen eräiden kasvillisuusalueiden muutokset vuodesta 1951-53 vuoteen 1996 | 38 |
| 4.4 Keiteleen ranta- ja vesikasviston kehittyminen | 39 |
| 5 Vedenkorkeuden vaihtelu; vertailu luonnontilaisen ja säännöstellyn Päijänteen sekä Keski-Keiteleen välillä | 41 |
| (Hellsten, S., Rotko, P. ja Marttunen, M.) | |
| 5.1 Vedenkorkeuden vaihtelu | 41 |
| 5.2 Vedenkorkeuden pysyvyys | 41 |
| 5.3 Eri vuodenaikojen erityistarkastelu | 43 |
| 5.3.1 Talvi | 43 |
| 5.3.2 Kevät | 44 |
| 5.3.3 Avovesikausi | 45 |
| 5.4 Laskeutuvan jään vaikutus rantavyöhykkeellä | 47 |
| 5.4.1 Mallitarkastelu | 47 |
| 5.4.2 Maastomittaukset | 48 |
| 5.5 Yhteenveto | 49 |
| 6. Rantavyöhykkeen tila | 50 |
| (Suoraniemi, M., Hellsten, S., Huovinen, J., Palomäki, R., Keto, A., Aronen, J., Viikilä, K., Saarnio, R. ja Keto, S.) | |
| 6.1 Tutkimusalueiden taustamuuttujat | 50 |
| 6.1.1 Kaltevuus | 50 |
| 6.1.2 Avoimuus ja muoto | 50 |
| 6.1.3 Veden nykyinen fysikaalis-kemiallinen laatu | 52 |
| 6.1.3.1 Päijänne | 52 |
| 6.1.3.2 Keski-Keitele | 53 |
| 6.1.4 Lähivaluma-alueen ominaisuudet | 53 |
| 6.1.5 Maankohoamisnopeus | 56 |
| 6.2 Rantavyöhykkeen umpeenkasvuaste | 56 |
| 6.2.1 Yleistä | 56 |
| 6.2.2 Eri kasvustojen leveydet | 57 |
| 6.2.3 Rannan kasvittuminen | 58 |
| 6.2.3.1 Kasvittumisaste | 58 |
| 6.2.3.2 Ilmaversoisten tiheys ja korkeus | 58 |
| 6.2.4 Umpeenkasvun indikaattorilajien yleisyys | 60 |
| 6.2.5 Umpeenkasvun arviointi kasvillisuusindeksin avulla | 62 |
| 6.2.6 Rantavyöhykkeen maatumisen | 62 |
| 6.2.7 Pohjan laatu | 64 |
| 6.2.8 Yhteenveto | 64 |
| 6.3 Veden rehevöitymisen vaikutus kasvillisuuteen | 66 |
| 6.4 Maankohoamisen vaikutukset kasvistoon | 68 |
| 6.5 Vedenkorkeuden vaihtelun suorat vaikutukset kasvistoon | 69 |
| 6.5.1 Vedenkorkeuden säännöstelyn indikaattorit | 69 |

| | |
|---|------------|
| 6.5.2 Kasvillisuuden kehitys strategia-analyysin perusteella | 70 |
| 6.5.3 Ilmaversoiskasvillisuuden riippuvuus vedenkorkeuden vaihtelusta ... | 72 |
| 6.5.3.1 Pääkasvustojen yleisjakauma | 72 |
| 6.5.3.2 Saraikot | 72 |
| 6.5.3.3 Kortteikot | 74 |
| 6.5.3.4 Ruovikot | 74 |
| 6.5.3.5 Vedenkorkeuden säännöstelyn vaikutus ilmaversoiskasvillisuuden esiintymistasoihin | 76 |
| 6.5.4 Yhteenveto | 76 |
| 7. Rantavyöhykkeen tilaan vaikuttavat tekijät | 77 |
| (Hellsten, S., Suoraniemi, M., Riihimäki, J., Visuri, M. ja Palomäki, R.) | |
| 7.1 Yleistä | 77 |
| 7.2 Rantavyöhykkeen kasvillisuuteen vaikuttavat ympäristötekijät | 77 |
| 7.2.1 Yleistä | 77 |
| 7.2.2 Kasvillisuusmuuttujien jakauma | 77 |
| 7.2.3 Kasvillisuuteen vaikuttavien tekijöiden erottelu | 79 |
| 7.2.3.1 Korrelaatioanalyysi | 79 |
| 7.2.3.2 Monimuuttuja-analyysi | 80 |
| 7.3 Muita kasvillisuuteen vaikuttavia tekijöitä | 81 |
| 7.3.1 Piisami | 81 |
| 7.3.2 Muu ihmistoiminta | 82 |
| 7.3.2.1 Rantojen rakentaminen | 82 |
| 7.3.2.2 Laiduntaminen | 85 |
| 7.4 Yhteenveto Päijänteen ja Keiteleen havainnoista | 87 |
| 8. Ruovikoituminen; täydentävät erillistutkimukset | 90 |
| (Keto, A., Hellsten, S., Lammi, E., Partanen, S., Visuri, M. ja Lampolahti, J.) | |
| 8.1 Järviruo'on kasvuolosuhteista erilaisilla pohjatyypeillä | |
| Etelä-Päijänteellä | 90 |
| 8.1.1 Taustaa | 90 |
| 8.1.2 Tutkimusalue ja menetelmät | 90 |
| 8.1.3 Tulokset | 92 |
| 8.1.3.1 Sedimenttinäytteet | 92 |
| 8.1.3.2 Kasvustojen ominaisuudet | 93 |
| 8.1.3.3 Pohjan laadun, rannan profiilin ja ruokokasvillisuuden välinen riippuvuussuhde | 94 |
| 8.1.4 Tulosten tarkastelu | 95 |
| 8.1.5 Johtopäätökset | 96 |
| 8.2 Vertailututkimus ruovikoiden esiintymisestä eri rehevyytason ja erilaisen kevättulvan omaavilla järvillä | 97 |
| 8.2.1 Yleistä | 97 |
| 8.2.2 Äänekosken alapuolisten järvien havainnot | 97 |
| 8.2.3 Lahden Vesijärvi | 102 |
| 8.2.4 Poosjärvi ja Inhottu | 104 |
| 8.2.5 Konnivesi-Ruotsalainen | 108 |
| 8.3 Yhteenveto ruovikon esiintymiseen vaikuttavista tekijöistä eri järvillä | 109 |
| 9 Etelä-Päijänteen rantavyöhykkeen pohjaeläinbiomassa ja siihen vaikuttavat tekijät | 111 |
| (Palomäki, R.) | |
| 9.1 Tulokset | 111 |
| 9.2 Ympäristömuuttujien vaikutus | 113 |

| | |
|---|------------|
| 9.3 Säännöstelyn vaikutus pohjaeläinbiomassaan - mallitarkastelu | 115 |
| 9.4 Etelä-Päijänteen rantavyöhykkeen pohjaeläinbiomassa elinympäristöjakauman perusteella laskettuna | 116 |
| 9.5 Yhteenveto | 118 |
| 10 Päijänteen rantavyöhykkeen pääelinympäristöt | 119 |
| (Hellsten, S., Palomäki, R., Lammi, E., Nuortimo, K., Savolainen, M. ja Venetvaara, J.) | |
| 10.1 Yleistä..... | 119 |
| 10.2 Pääkasvillisuustyytit | 120 |
| 10.2.1 Pinta-ala jakauma | 120 |
| 10.2.2 Esiintymistiheys ja siihen vaikuttavat tekijät | 121 |
| 10.3 Pääelinympäristöjen määräytyminen ja jakauma | 123 |
| 10.3.1 Rantatyyppijako luokittelun perusteena | 123 |
| 10.3.2 Pääelinympäristöjen muotoutuminen; esimerkkinä haukien lisääntymisalueet | 124 |
| 10.3.3 Elinympäristöjen merkitys rantavyöhykkeen eliöstölle ja käytölle | 126 |
| 10.4 Vedenkorkeuden säännöstelyn vaikutus pääkasvillisuustyyppien pinta- alaan | 127 |
| 11 Pääkasvillisuustyyppien kehitykseen vaikuttavien tekijöi- den erottelu | 129 |
| (Hellsten, S.) | |
| 12 Rantavyöhykkeen kunnostusmahdollisuudet | 133 |
| (Keto, A., Hellsten, S., Marttunen, M., Riihimäki, J., Partanen, S. ja Visuri, M.) | |
| 12.1 Kunnostuksen kohteet | 133 |
| 12.2 Käytettyjä menetelmiä | 133 |
| 12.2.1 Vesikasvien niitto | 133 |
| 12.2.2 Pohjan ruoppaus | 134 |
| 12.2.3 Esimerkkejä kunnostustoimien onnistumisesta | 135 |
| 12.3 Päijänteen rantojen kunnostuskustannukset | 136 |
| 12.3.1 Laskentaperusteet | 136 |
| 12.3.2 Virkistyskäyttöhaitan poisto | 138 |
| 12.3.3 Rantaluonnon luonnontilan palauttaminen | 138 |
| 12.4 Kunnostustoimenpiteiden vaikutukset vesi- ja rantaluontoon | 138 |
| 12.4.1 Vesikasvien niitto | 138 |
| 12.4.2 Pohjan ruoppaus | 139 |
| 13 Johtopäätökset | 140 |
| 14 Kiitokset | 142 |
| Kirjallisuus..... | 144 |
| Liitteet | 148 |
| Kuvailulehdet | 165 |

Tutkimuksen tavoitteet ja sisältö

Palomäki, R.¹⁾, Hellsten, S.²⁾ ja Marttunen, M.³⁾

¹⁾ Keski-Suomen ympäristökeskus

²⁾ VTT Yhdyskuntatekniikka, vesi- ja ekotekniikka

³⁾ Suomen ympäristökeskus

Viime vuosikymmenten suurena ongelmana Päijänteellä on ollut järven rehevöityminen. Rehevöitymiseen ovat vaikuttaneet taajamien ja teollisuuden jätevesikuormitus sekä valuma-alueelta huuhtoutuva ravinnekuormitus. Nykyisin, jätevesien puhdistuksen tehostuttua, ulappa-alueen rehevöityminen on saatu pysähtymään ja tila on kohentunut huomattavasti. Ranta-alueiden käyttäjien mielestä Päijänteen rantojen rehevöityminen kuitenkin jatkuu. Matalien lahtialueiden on väitetty kasvavan hitaasti umpeen, minkä on edelleen väitetty suosineen vähempi-arvoisten kalakantojen kasvua arvokalojen kustannuksella. Umpeenkasvun syynä pidetään lisääntyneen ravinnekuormituksen lisäksi säännöstelyä, joka on alentanut ja siirtänyt kevättulvaa.

1.1 Tutkimuksen tavoite

Vuosina 1995-1999 toteutetussa Päijänteen säännöstelyn kehittämisselvityksessä on perusteellisesti selvitetty säännöstelyn taloudellisia, ekologisia ja sosiaalisia vaikutuksia sekä Päijänteellä että sen alapuolisessa Kymijoessa. Selvitystyön tuloksena on esitetty suosituksia säännöstelyn haittojen vähentämiseksi ja hyötyjen lisäämiseksi. Selvitystyö on toteutettu viranomaisten, vesistön eri käyttäjäryhmien edustajien ja tutkijoiden yhteistyönä. Työn tulokset on koottu yhteenvetoraporttiin (Marttunen & Järvinen 1999).

Päijänteen säännöstelyn kehittämisselvitys koostui useista erillisistä osatutkimuksista, joista käsillä oleva rantavyöhyketutkimus on laajin. Rantavyöhyketutkimuksen päätavoitteina olivat:

- A) Määritellä Päijänteen ranta-alueiden kehittämiseen vaikuttavat tekijät ja niiden merkitys
- B) Arvioida ranta-alueiden tulevaa kehitystä erilaisissa kuormitus- ja säännöstelytilanteissa.

Eritellyinä osatavoitteina on lisäksi:

- 1. Arvioida erilaisten rantatyyppien ja kasvillisuusalueiden määrä Päijänteellä (elinympäristökartoitus),
- 2. Selvittää, minkälaisia muutoksia rantavyöhykkeessä on tapahtunut säännöstelyn aikana,
- 3. Arvioida eri tekijöiden (säännöstely, maankohoaminen, ravinnekuormitus) osuutta rantavyöhykkeen kehityksessä,
- 4. Arvioida rantavyöhykkeen kasvillisuuden, kalanpoikasten ravintovarojen sekä pesimälinnuston kehittymistä tulevaisuudessa erilaisilla säännöstelyn kehittämisvaihtoehdoilla ja kuormitusskenaarioilla,

5. Arvioida, minkälaiset alueelliset vaikutukset ranta-alueilla havaituilla muutoksilla on Päijänteen eri osiin ja koko Päijänteeseen eri säännöstelyn kehittämisvaihtoehdoilla ja kuormituskenaarioilla,
6. Arvioida rantojen sukkessio-tilassa havaittujen muutosten vaikutukset kalojen ravintovaraan, elinalueisiin ja edelleen kalojen poikastuotantoon.

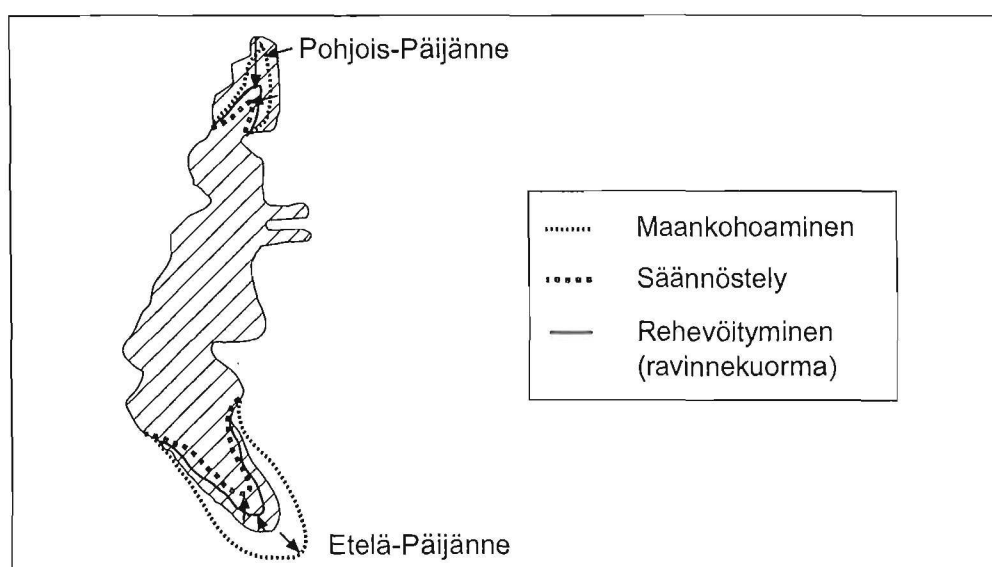
Tässä osaraportissa tarkastellaan lähinnä aihepiireihin 1, 2 ja 3 liittyviä tutkimustuloksia, joista saadaan tietoa rantavyöhykkeen nykytilasta ja kehityksestä. Erityistä huomiota kiinnitetään tilaan vaikuttavien tekijöiden erittelyyn. Tutkimuksessa Päijänne on jaettu Etelä-, Keski- ja Pohjois-Päijänteeseen (käytetään jäljempänä lyhenteitä EP, KP ja PP), jotta kasvillisuuden kehitykseen vaikuttavat kuvassa 1 eritellyt taustatekijät olisivat mahdollisimman selkeitä. Etelä-Päijännettä koskevaa tietoutta on koottu myös erillisessä julkaisussa (Hellsten ym. 1999a). Vaikutusten arvioinnissa on käytetty myös vertailujärvitarkastelua. Vertailujärveksi on valittu Keski-Keitele (jäljempänä pelkkä Keitele tai lyhennettynä Kei), joka tunnetaan verrattain luonnontilaisena ja säännöstelemättömänä järvenä.

1.2 Tutkimushypoteesit

Palomäen ym. (1996) mukaan keskeisimpiä Päijänteen rantaan vaikuttavia tekijöitä on neljä:

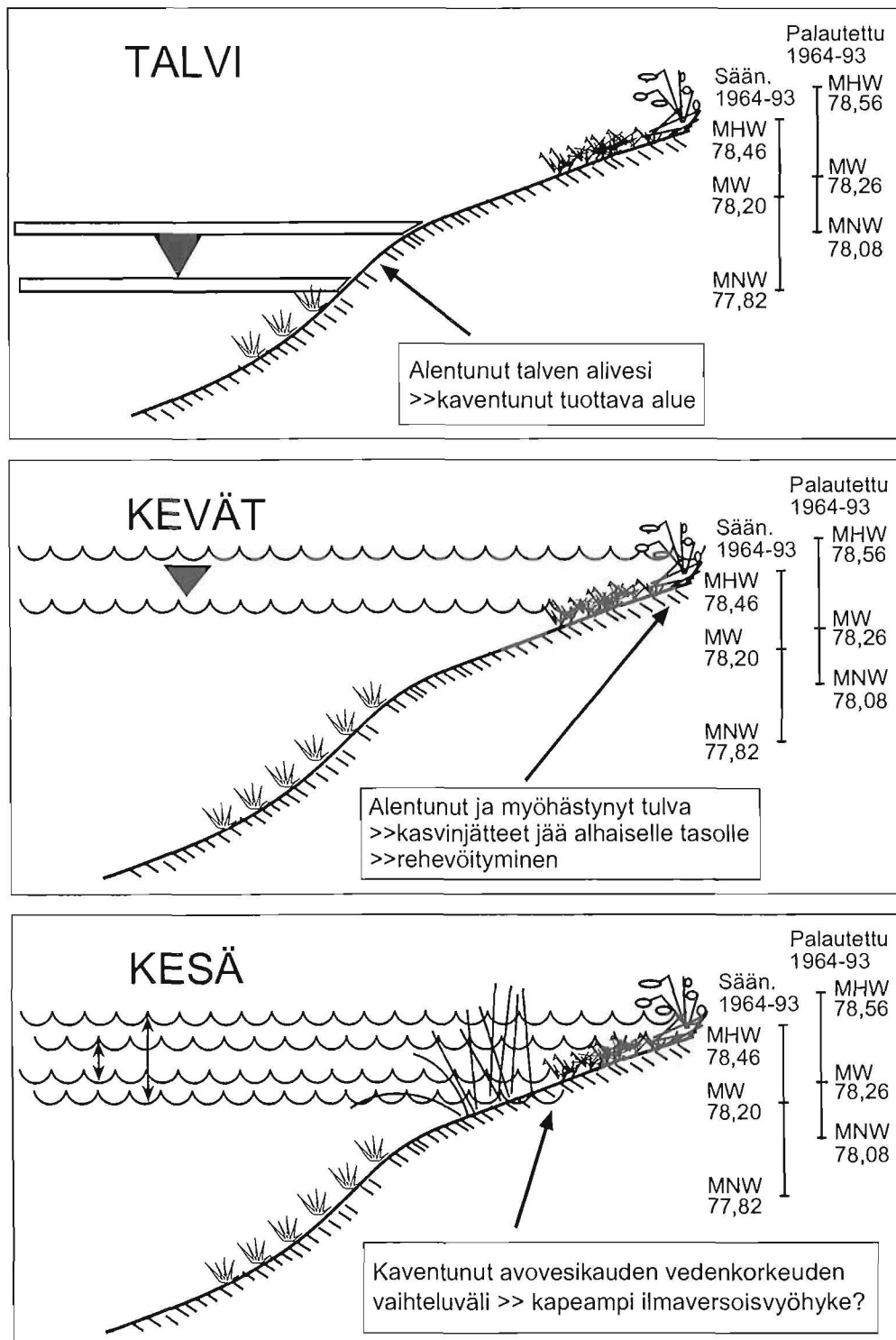
1. Maankohoaminen
2. Ravinnekuormitus
3. Säännöstely
4. Rantojen eri käyttömuodot ja -tehokkuus

Maankohoamisen vaikutus on kaksijakoinen: järvioltaan kallistuminen lisää kasvittuvan alueen pinta-alaa Pohjois-Päijänteellä, mutta vähentää sitä Etelä-Päijänteellä (kuva 1). Pohjois-Päijänteellä paljastuu uutta rantaa, jolloin erityisesti ilmaversoinen kasvillisuus voi vallata uusia esiintymisalueita. Etelä-Päijänteellä taas rantaa joutuu veden alle, koska vedenpinta pyrkii nousemaan ilman säännöstelyä. Ero maankohoamisnopeudessa järven ääripäiden välillä on ollut säännöstelyn aikana noin 7 cm.



Kuva 1. Ranta-alueen kasvillisuuden pinta-alaa lisäävien (nuolten suunta ulapalle päin) ja vähentävien (nuolten suunta rantaan päin) tekijöiden suhteellinen voimakkuus järven pohjois- ja eteläosassa (Palomäki & Hellsten 1996).

Säännöstelyn ja ravinnekuormituksen on oletettu vaikuttavan kasvillisuutta lisäävästi. Ravinnekuormituksen kasvillisuutta lisäävä vaikutus on tunnettu ja ilmenee sekä lajistollisina muutoksina että myös biomassan kasvuna, joka kiihdyttää myös rantojen umpeenkasvua. Säännöstelyn kasvillisuutta lisäävä vaikutus liittyy muutoksiin avovesikauden vedenkorkeudessa ja erityisesti kevättulvan mataltumiseen ja siirtymiseen (kuva 2). Säännöstelemättömässä järvessä tulva siirtää edellisvuotisen kuolleen kasviaineksen kasvualueeltaan rantametsikköön, jossa



Kuva 2. Hypoteettinen kuvaus säännöstelyn vaikutuksesta Päijänteen rantavyöhykkeen kasvillisuuteen talvella (ylhällä), keväällä (keskellä) ja kesällä (alhaalla).

se hapekkaissa olosuhteissa vedenpinnan laskiessa hajoaa melko nopeasti. Sen sijaan säännöstellyissä järvissä tulvan myöhästymisen ja madaltuminen jättää kasvijnätteet makaamaan kasvupaikalleen usein vähähappiseen rantaveteen, jolloin ne toimivat ravinnerikkaana kasvualustana uudelle kasvillisuudelle.

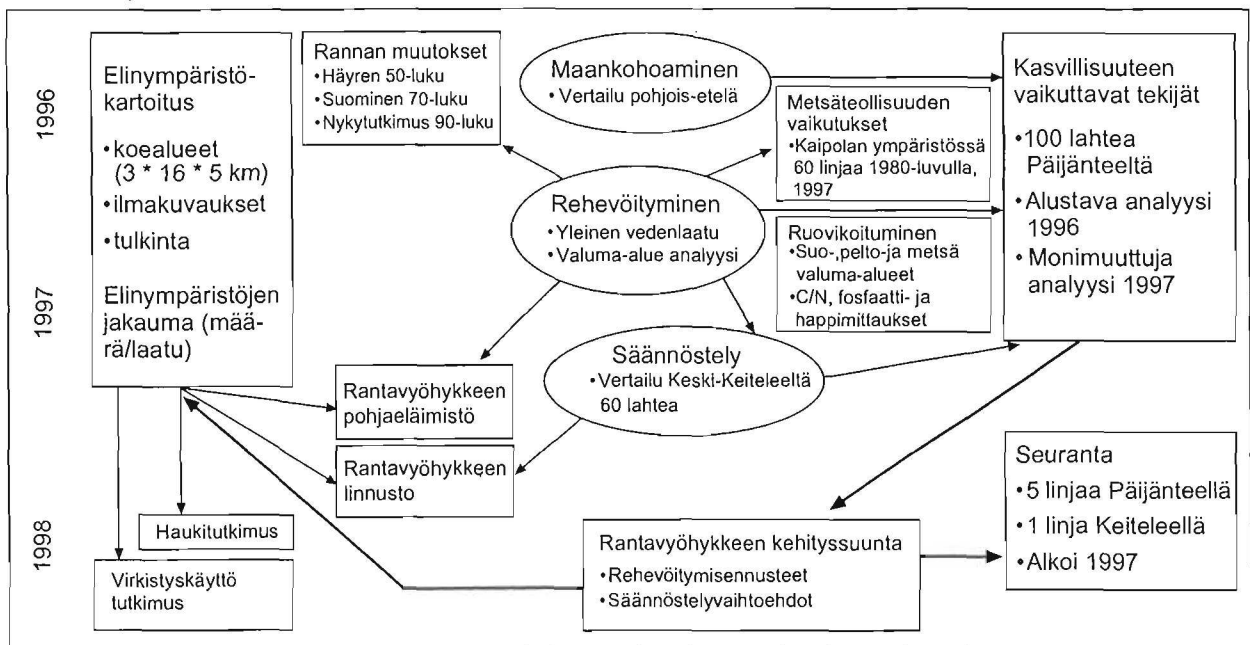
Rantojen käyttö on myös muuttanut rantavyöhykettä. Peltöjen pengerrykset sekä erityisesti veneväylien ja rantojen raivaukset ja ruoppaukset ovat paikallisesti suurestikin muuttaneet erityisesti matalien ranta-alueiden tilaa.

1.3 Liittymäkohdat muihin tutkimuksiin

Päijänteen rantavyöhyketutkimukset muodostavat laajan kokonaisuuden, joihin liittyy useita Päijänne-projektissa tehtäviä tutkimuksia ja joka toisaalta myös tuottaa tietoa muille osaprojekteille. Eri osaprojekteja on kuvattu sivun alosan kaaviossa, jonka sisältö osin selitetty allaolevissa kappaleissa.

1.3.1 Ruovikoiden ekologia

Järviruo'on (*Phragmites australis*) leviäminen on sekä Päijänteellä että myös monilla muilla suomalaisilla järvillä eräs suurimmista rantavyöhykkeen tilaa muuttavista tekijöistä (esim. Rintanen 1996). Rantavyöhyketutkimuksen yhteydessä käynnistettiin erillinen ruovikoitumista koskeva selvitys (Keto ym. 1997). Tutkimuksen tarkoituksena on eritellä valuma-alueen, vedenlaadun ja erityisesti pohjasedimentin koostumuksen vaikutusta ruovikoiden esiintymiseen ottaen huomioon myös säännöstelyn kasvillisuutta muuttavan vaikutuksen. Tutkimus on keskitetty kolmelle erityyppisen valuma-alueen omaavalle rannalle Etelä-Päijänteellä ja kenttätöitä on tehty pääasiassa kesien 1997 ja 1998 aikana. Tutkimuksen tulokset on julkaistu erillisenä opinnäytetyönä (Keto 1999).



1.3.2 Ruovikoiden leviäminen

Erityisesti Etelä-Päijänteelle tyypillisen ruovikoitumisen historian selvittämiseksi tehtiin erillinen 1950-luvun alkupuolen ilmakuviin perustuva vertailututkimus. Tutkimuksen tarkoituksena on sekä todeta tapahtunut kehitys että tarkastella kokonaisvaltaisesti umpeenkasvuilmiötä. Tutkimus julkaistaan opinnäytetyönä vuoden 2000 aikana (Sari Partanen, Oulun yliopisto, Maantieteen laitos).

1.3.3 Kasvillisuus seuranta

Rantavyöhyketutkimuksen eräänä tarkoituksena oli aloittaa kasvillisuuden pysyväisluonteinen seuranta pitkäaikaiskehityksen havainnoimiseksi (Palomäki ym. 1996). Maastotöiden perusteella valittiinkin viisi erillistä kasvillisuuslinjaa Päijänteeltä ja yksi Keski-Keiteleeltä, joilla tehtiin Biologitoimisto Jari Venetvaara ky:n toimesta seurantalinjat loppukesällä 1997 (kuvat 3 ja 4).

Tutkimuslinjat olivat 5 m leveitä ja ulottuivat rannalta avoveteen niin pitkälle kuin vesikasveja tavattiin. Kasvillisuuden tarkasteleminen aloitettiin rannalta siitä kohdasta missä järvivesi vielä vaikutti kasvillisuuteen. Mukaan otettiin myös rantaniityt ja luhdat.

Linjoilla edettiin rannalta avoveteen niin syvälle kuin kasvillisuus ulottui. Kasvillisuus tutkittiin näytealalta aina kun vesi syvenyi 10 cm. Näytepaikoista määritettiin kasvilajit, niiden runsaus n. 2 x 2 m:n alalta sekä veden syvyys ja paikan etäisyys rannasta tai rantaniityn reunasta. Yli puolen metrin syvyydestä kasvit haravoitiin pitkävartisella haravalla veneestä käsin, matalammalta ne saattoi nähdä veden läpi. Kasvilajien runsaus määritettiin viisiportaisella asteikkolla, jossa 1 = yksittäinen verso näytealalla, 2 = muutamia versoja siellä täällä, 3 = niukasti jokseenkin koko näytealalla, 4 = runsaasti koko alalla, mutta kasvi ei muodosta laajoja, yhtenäistä kasvustoja, 5 = runsas massalaji koko näytealalla. Linjan kasvitiedot tulostettiin ns. kasvimatriisiksi.

Kasvillisuusseuranta on raportoitu alustavasti erillisenä raporttina (Venetvaara 1997).

1.3.4 Rantavyöhykkeen pohjaeläimistö

Päijänteen lahtialueiden rehevöityminen muuttaa rantahabitaatteja ja ilmenee erityisesti kasvillisuusalueiden laajenemisena. Havaitut muutokset habitaateissa vaikuttavat kalojen ravintovaraan, elinalueisiin ja edelleen kalojen poikastuotantoon (Palomäki ym. 1996, Marttunen ym. 1996). Tutkimuksen lähtöhypoteesina oletettiin, että suojaisilla habitaateilla kasvillisuuden määrän kasvaessa myös pohjaeläinmassa kasvaa. Tutkimus on julkaistu myös erillisenä raporttina (Palomäki 1997), mutta tulokset on kokonaisuudessaan sisällytetty myös käsillä olevaan raporttiin.

Kasvillisuuden määrän vaikutusta pohjaeläimistöön ei ole tarkkaan selvitetty aiemmin (Rasmussen 1988, Palomäki 1993, Palomäki & Hellsten 1996). Kasvillisuuden määrän on kuitenkin havaittu yleensä lisäävän pohjaeläimistön määrää. Rannan kaltevuus puolestaan vaikuttaa rannan sukkessiotilaan siten, että kaltevuuden vähetessä kasvillisuus valtaa yhä enemmän alaa ja alue kasvaa hitaasti umpeen, mikäli muut ympäristötekijät sen sallivat. Lähtöhypoteesin perustalta Päijänteen rantahabitaattimuutosten vaikutusta kalojen saatavilla olevaan pohjaeläinravintomäärään ranta-alueella arvioitiin tässä tutkimuksessa pohjaeläimistöä koskevan tarkastelun avulla (aiemmin kehitetyt mallit, ks. Hellsten ym. 1997). Mallin lähtötietoina käytettiin Päijänteen habitaattikartoituksen tuloksia. Mallin avulla määritettiin pohjaeläimistön kokonaisbiomassa

Päijänteen eri habitaattityypeillä. Etelä-Päijänteeltä kerättiin suhteellisen suppea pohjaeläinaineisto, jonka avulla pyrittiin selvittämään ranta-alueen kasvittumisen vaikutusta suojaisten lahtialueiden pohjaeläinbiomassaan ja edelleen eri pohjaeläinryhmien määriin. Tutkimuksessa arvioidaan mallitarkastelun ja pohjaeläinnäytteistä saatujen tutkimustulosten perusteella Päijänteen ranta-alueen kasvittumisen aiheuttaman muutoksen merkitystä Päijänteen pohjaeläimistölle ja pohjaeläinravintoa käyttäville kaloille.

1.3.5 Haukitutkimus

Hauen lisääntymiseen liittyvä tutkimus on koko Päijänteen säännöstelyn kehittämismisselvityksen keskeisiä osatutkimuksia. Rantavyöhyketutkimuksen yhteydessä tehty elinympäristökartoitus on tuottanut tietoa hauelle soveliaiden lisääntymisalueiden määrästä ja laadusta. Varsinainen haukitutkimus on julkaistu erikseen (Korhonen 1999).

1.3.6 Virkistyskäyttötutkimus

Virkistyskäyttötutkimuksessa on keskitytty rantojen virkistyskäytön kannalta suotuisien vedenkorkeuksien määrittämiseen sekä rantavyöhykkeen virkistyskäytöarvon ja siinä tapahtuvien muutosten selvittämiseen. Elinympäristökartoitus tuottaa taustatietoa em. hankkeella ja toisaalta virkistyskäyttötutkimuksen yhteydessä mitatut rantaprofiilit ovat antaneet lisätietoa rantavyöhyketutkimukselle. Varsinainen virkistyskäyttötutkimus on julkaistu erikseen (Sinisalmi ym. 1999).

1.3.7 Metsäteollisuuden vaikutukset

Rantavyöhyketutkimus toimii myös yhteistyössä Oy Keskuslaboratorion (KCL) tekemän kasvillisuustutkimuksen kanssa. Kesällä 1997 tutkija Sergei Pogreboff toisti kesällä 1987 tekemänsä tutkimuksen Kaipolan paperitehtaan lähialueilla (Pogreboff 1989). Tutkimus koostuu 63 vesikasvilinjasta, joiden havainnot ovat vastavuoroisesti molempien tutkimusten käytössä. Tutkimus on julkaistu erillisenä raporttina (Pogreboff 1998).

Päätutkimusalueiden yleiskuvaus

Suoraniemi, M.¹⁾²⁾ ja Hellsten, S.¹⁾

¹⁾VTT Yhdyskuntatekniikka, vesi- ja ekotekniikka

²⁾Suomen Ympäristövaikutusten Arviointikeskus Oy

2.1 Päijänne

Päijänne, Suomen kolmanneksi suurin järvi, on syntynyt pääosin jo prekambrikaudelta peräisin olevaan kallioperän rakojen ja ruhjeiden muodostamaan altaaseen. Allas muodostuu kallioperän syvänteestä ja kaakkois-luode-suuntaisista murros-linjoista, joiden mukaisiksi Päijänteen useimmat lahdet sekä sivuvesistöjen järvet ovat muodostuneet. Päijänne on noin 9000 vuotta kestäneen kehityksensä aikana muotoutunut uudelleen useaan kertaan. Jääkauden jälkeen Muinais-Päijänteen lasku-uoma suuntautui luoteeseen. Maankohoamisen alueellisesta erilaisuudesta johtuen Päijänne kallistuu tänäkin päivänä etelään ja laskee nykyisin vetensä Kymijokea myöten Suomenlahteen. Pohjoispäässä maankohoamisnopeus on 6,5 mm vuodessa ja eteläpäässä 4,4 mm vuodessa. Päijänteen muita tunnuspiirteitä on esitetty taulukossa 1. Päijännettä on säännöstelty vuodesta 1964 tavoitteena erityisesti tulvien torjuminen ja vesivoiman tuottaminen. Säännöstely on laskenut kaikkia muita paitsi kesävedenkorkeuksia luonnontilaan verrattuna. Tarkemmin säännöstelyä on käsitelty kappaleessa 5.

Tutkimuksessa Päijänne on jaettu kolmeen eri osa-alueeseen (kuva 3). Etelä-Päijänteen pohjoisrajana on käytetty Tehinselkää eli linjaa Tehinniemestä Töijensaloon. Keski-Päijänteen pohjoisrajana on Saviselkä eli Jämsänniemestä Riiniemeen vedetyn linjan pohjoispuolinen alue kuuluu Pohjois-Päijänteeseen.

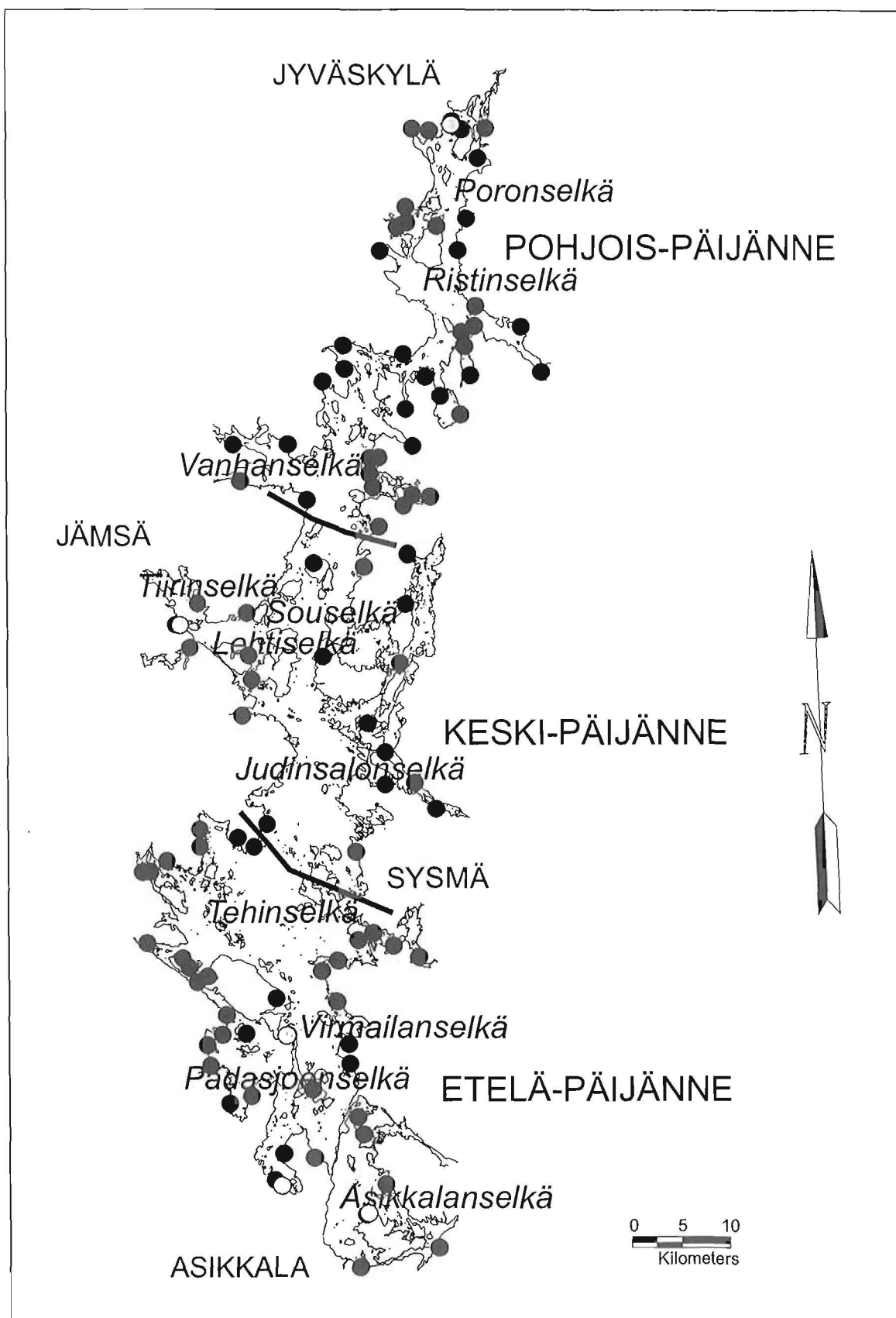
Päijänne on ollut aktiivisen tutkimustoiminnan kohteena jo 1800-luvun lopulta alkaen. Päijänteellä tehdyistä tutkimuksista on Palomäki (1995) laatinut yhteenvedon. Yleisenä arviona kirjallisuuden määrästä ja kohdentumisesta Päijänteellä

Taulukko 1. Päijänteen ja Keski-Keiteleen tunnuspiirteitä. (Päijänteen alueen vesien käytön kokonaissuunnitelma 1978, Kuusisto 1992).

| | Päijänne | Keitele |
|---|----------|---------|
| Valuma-alueen koko, km ² ¹⁾ | 26 480 | 1 197 |
| Järven koko, km ² ^{1),2)} | 1 116 | 500 |
| Tilavuus, km ³ ²⁾ | 18,1 | 3,7 |
| Järvisyys, % ¹⁾ | 9,5 | 30,3 |
| Suurin pituus, km | 119 | 77 |
| Suurin leveys, km | 28 | 14 |
| Saarten lukumäärä | 988 | 819 |
| Saarten pinta-ala, km ² | 225 | 99 |
| Rantaviivan pituus, km ^{1),2)} | 2 248 | 1 274 |
| Suurin tehoisa pituus, km | 52 | 30 |
| Suurin syvyys, m | 95 | 65 |
| Keskisyvyys, m | 16,2 | 7,3 |
| Teoreettinen viipymä, vuotta | 2,9 | 2,0 |

¹⁾ Päijänne Asikkala, Keski-Keitele

²⁾ Päijänne tasolla NN + 78,08 m



Kuva 3. Pääjärven rantavyöhyketutkimuksen osa-alue jako ja tutkimuslinjojen sijainti eri osa-alueilla. Pitkäaikais-seurantalinjat on merkitty harmaalla pisteellä.

Palomäki (1995) esittää, että kirjallinen tuotanto säännöstelystä Päijänteestä verrattuna muihin suomalaisiin säännösteltyihin järviin on kohtalaisen suuri tai suuri (147 viitettä), mutta ranta-aluetta koskeva osuus tästä on niukka (29 viitettä). Tarkastelusta rajattiin puhtaat limnologiset ja vedenlaatua koskevat tutkimukset pois, sillä Lehtovaara (1978) oli koonnut ne jo aiemmin. Kalatutkimuksia löytyi eniten ja rantakasvi-, rantamaisema- ja säännöstelytutkimuksia vähiten. Päijänteen ranta-alueen ekologiaan vaikuttavista tekijöistä on saatavissa muun muassa tietoa vedenkorkeuksista vuodesta 1879, rantahabitaattien kartoituksen pohjatiedot, eri rantatyyppien kaltevuuskulmat (Sjögren 1933, Paasilampi 1949), syvyyskartoitustiedot, rantaviivan pituus, hajanaisia pohjan laatutietoja, rantakasvillisuustietoja (Maristo 1941, Linnasalmi 1944, Koskimies 1946, Pogrepoff 1989, Suominen 1997), muikun ja siian poikasten nuottaustuloksia useilta vuosilta sekä kalanistutustilastot. Aineiston hyväksikäyttöä hankaloittaa ja osittain estääkin puutteelliset paikkatiedot. Esimerkiksi suurin osa kaltevuuskulman mittauksista vuodelta 1927 on erittäin vaikeasti hyödynnettävissä, koska kartat on piirretty ilman mittakaavaa ja linjoja ei voida paikantaa.

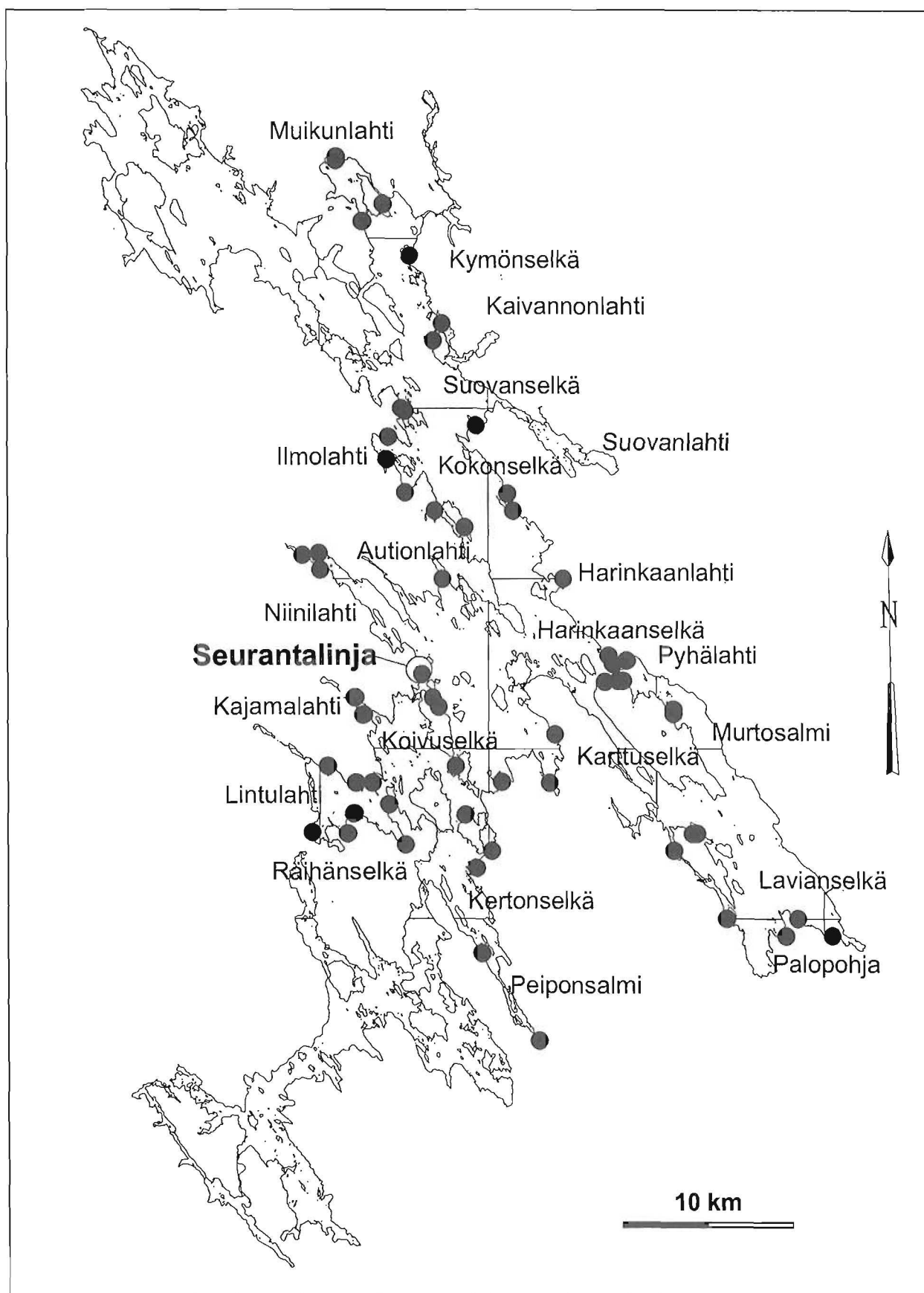
Päijänteen aikaisemmat vesi- ja rantakasvillisuustutkimukset sen sijaan tarjoavat vähälukuisuudesta huolimatta erinomaisen vertailuaineiston nykyiselle tutkimukselle. Em. tutkimukset on yksityiskohtaisesti selostettu kappaleessa 3.1.

2.2 Keski-Keitele vertailujärvenä

Keiteleen järviällä on syntynyt useista luoteesta kaakkoon kulkevista halkeama-laaksoista, minkä vuoksi siinä voidaan erottaa useita osia. Järven pohjoisin osa, Ylä-Keitele ulottuu Viitasaaren kohdalle. Siitä järven kapeimpaan paikkaan, Matilanvirtaan ulottuvaa osaa kutsutaan Keski-Keiteleeksi ja eteläisintä osaa Ala-Keiteleeksi (kuva 4). Pyhäsalon saaren kohdalla alkaa n. 20 km pitkä, kaakkoon suuntautuva Kuhjonlahti. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin Keski-Keiteleen ja Kuhjonlahden alueita. Vesi laskee Keiteleestä Kuhnamojärveen kahta tietä, Äänekosken ja Mämmenkosken kautta. Keiteleen Pohjois-Konneveteen yhdistävä Neiturin kanava on bifurkaatiokanava. Keiteleen maankohoamisnopeus on keskimäärin 6,4 mm vuodessa.

Keiteleeltä aiempaa tutkimustietoa on huomattavasti vähemmän kuin Päijänteeltä. Vertailujärvitarkastelun kannalta oleelliset tiedot (vedenkorkeus ja -laatu) ovat kuitenkin olleet käytettävissä. Keiteleen vedenkorkeuksia on mitattu systemaattisesti vuodesta 1886 alkaen. Veden fysikaalista ja kemiallista laatua on seurattu 1960-luvulta saakka. Olkion (1993) tekemä Keiteleen vedenlaatuselvitys on laajin yksittäisistä tutkimuksista.

Keiteleen valintaa vertailujärveksi tuki vedenkorkeuden vaihtelun samankaltaisuus luonnonmukaisen Päijänteen kanssa (kts. 5.1). Vedenlaadultaan Keitele ja Päijänne eivät poikkea merkittävästi toisistaan (kts. 6.1.3).



Kuva 4. Keski-Keiteleen tutkimuslinjojen (piste) sijainti eri osa-alueilla. Pitkåaikaissurantalinja on merkitty harmaalla pisteellå.

Aineisto ja menetelmät

3.1 Aikaisemmat kasvistotutkimukset

Tiedot Päijänteen makrofytyttisistä vesikasveista perustuvat lähinnä Häyrénin (1954) vuosina 1951-53 ja Suominen (1997) vuosina 1974-75 tekemiin selvityksiin. Häyrén (1954) tutki vesikasvit syvästä vedestä rantaviivalle ulottuvalta vyöhykkeeltä (306 pistettä) eri puolilta Päijännettä. Häyrénin (1954) tutkimuksessa ovat edustettuina pääasiassa lahdet, matalat suojaiset rannat ja kylien läheiset perukat. Tutkimuspisteiden sijaintia ja kokoa ei ole ilmoitettu, mutta Suominen (1997) on paikantanut kymmeniä pisteitä lajien löytöpaikkaluetteloiden avulla. Häyrén (1954) teki tutkimuksensa ennen Päijänteen rehevöitymiskehityksen nopeutumista ja ennenkuin vedenkorkeutta alettiin säännöstellä. Hänen havaintojaan voi siten käyttää lähtökohtana selvitetessä järven vesikasvistossa tapahtuneita muutoksia.

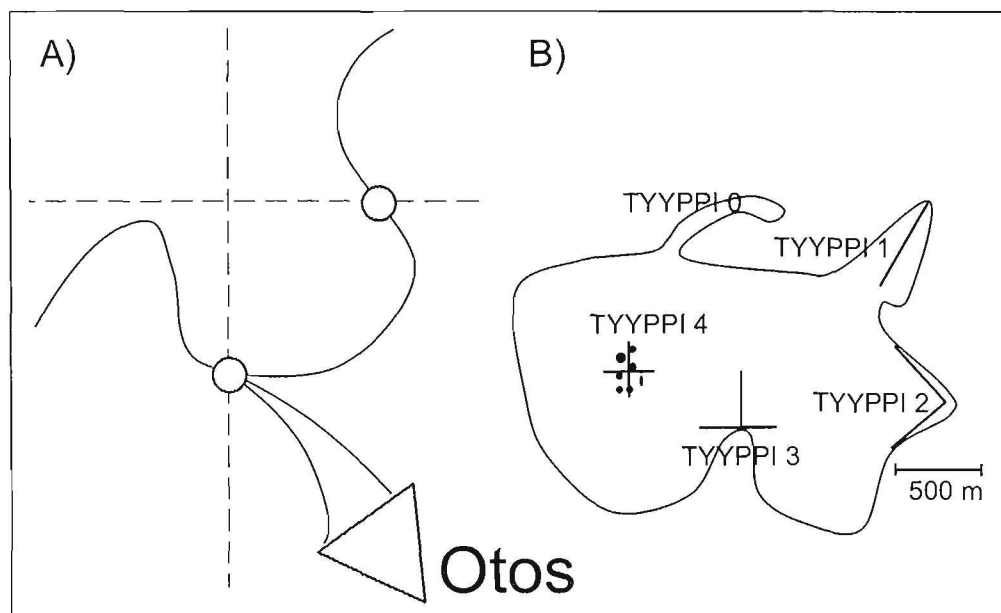
Suominen (1997) tutki vuosina 1974-75 vesikasveja 45 paikassa koko Päijänteen alueella. Tutkimuksen tulokset on julkaistu alunperin vuonna 1975 käsikirjoituksena, mutta aiheen tultua Päijänne-selvitysten myötä uudelleen ajankohtaiseksi käsikirjoitus julkaistiin miltei ilman muutoksia projektin toimesta (Suominen 1997). Tutkimuspisteistä noin 20 on Häyrénin 1951-53 tutkimia pisteitä. Erona Häyrénin (1954) tutkimukseen on aineiston määrä sekä osittain myös tutkittujen paikkojen sijainti. Aineistojen vastaavuus mahdollistaa varovaisen vertailun. Aineiston luonteesta johtuen vertailutulos kertoo lähinnä siitä, mitä lahtivesissä ja perukoissa on kahden vuosikymmenen aikana tapahtunut, osaksi järven yleisen rehevöitymisen ja säännöstelyn, osaksi jätevesipäästöjen ja hajakuormituksen vaikutuksesta (Suominen 1997).

Ensimmäiset kasvillisuustutkimukset Keiteleellä on tehty 1930-luvulla (Sirkka 1949), missä yhteydessä on tehty myös näkösyvyys- ja pH-mittauksia. Sirkkan havaintopaikoista neljä sijaitsee Keski-Keiteleen alueella. Paikat olivat enimmäkseen varsin karuilla alueilla, ainoana rehevänä lahtena Keski-Keiteleellä oli Kajamanlahti. Tutkimusmenetelmä poikkeaa tässä tutkimuksessa käytetystä ja vertailua voidaan tehdä lähinnä siinä suhteessa onko Sirkkan yleisimmiksi mainitsemien lajien keskinäisissä suhteissa tapahtunut muutoksia. Kesällä 1964 on Eloranta (1966) tehnyt vesikasvihavaintoja Keski-Keiteleellä, lähinnä Kajamanlahdessa. Aineisto mahdollistaa samankaltaisen vertailun kuin Sirkankin aineisto. Kasvillisuusselvityksiä on tehty Keiteleellä myös 1990-luvulla (Pogreboff 1992, 1993). Tutkimukset rajoittuvat kuitenkin Ala-Keiteleelle, joten tulokset eivät ole vertailukelpoisia tämän tutkimuksen tulosten kanssa.

3.2 Kasvillisuustutkimukset 1996 ja 1997

3.2.1 Tutkimuslinjojen valinta

Aineisto on kerätty vain suojaisilta habitaateilta, joissa avoimuus eli ulapalle avautuvan kulman muoto on alle 90 astetta (kuva 5). Avoimilla habitaateilla selittävät muuttujat (esim. avoimuus, muoto, kaltevuus, maaperä) vaikuttavat niin merkittävästi kasvillisuuden esiintymiseen, ettei päämielenkiinnon kohteena olleen



Kuva 5. A) Tutkimuslinjan valinta suojaiselta rannalta. B) Rannan avoimuus arvioituna tuulialan suuruuteen perustuvalla 0-4 menetelmällä (Palomäki 1992). Tyyppi 0 = ei tuulialaa, tyyppi 1 = 0°- 89°, tyyppi 2 = 90°- 179°, tyyppi 3 = 180°- 269° ja tyyppi 4 = 270°- 360°.

rehevöitymisen vaikutusta ole enää erotettavissa. Tutkimuslinjat valittiin satunnaismenetelmällä seuraavasti; linjat valittiin suojaisilta rannoilta, joissa yhtenäiskoordinaatiston kilometrin hila leikkasi rantaviivaa (kuva 5). Yksi linja oli rantaviivaan nähden kohtisuora profiili. Linjat olivat joko ns. normaalilinioja tai ns. erityislinjoja. Erityislinjoilla tehtiin perusteellisempia tutkimuksia kuin normaalilinoilla. Linjoilla tehdyt mittaukset on selostettu yksityiskohtaisesti seuraavassa kappaleessa

Päijänteellä normaalilinjoiden määrä oli kaikilla osa-alueilla 100 eli yhteensä 300 kappaletta. Maastotutkimusten yhteydessä valittiin otoksista Etelä-Päijänteellä 41, Keski-Päijänteellä 20 ja Pohjois-Päijänteellä 40, eli yhteensä 101 linjaa (liite 1). Valinta suoritettiin siten, että linja sijaitsi ensisijaisesti habitaattialueella (kts. 3.5.1) ja toissijaisesti lähellä Suomisen (1997) vuosina 1974-75 tutkimia alueita. Mikäli kumpikaan kriteeri ei täytynyt linja valittiin alueelta, joka oli mahdollisimman etäällä muista linjoista. Keiteleellä linjoja valittiin 250 linjan otoksesta yhteensä 63, joista neljä jouduttiin hylkäämään liiallisen avoimuuden tai vaikean saavutettavuuden vuoksi. Kaikkiaan Keiteleeltä tutkittiin siis 59 linjaa (kuva 4, liite 2). Päijänteellä puolet linjoista oli erityislinjoja, Keiteleellä kaikilta linjoilta tehtiin sekä normaali että erityislinjan mittaukset.

3.2.2 Maastotutkimukset

Maastotyöt tehtiin Päijänteellä 28.7.-3.9.1996 ja Keiteleellä 14.7.-15.8.1997 välisenä aikana. Päijänteen maastotutkimuksista vastasi kenttäryhmä (Antton Keto ja Kirsi Viikilä Päijänteen luontokeskuksesta sekä Jyrki Aronen Keski-Suomen ympäristökeskuksesta), joka sai määräysapua Jari Venetvaaralta ja Esa Lammilta (Jari Venetvaara ky). Keiteleen kenttäryhmään kuuluivat Antton Keto ja Sami Keto Päijänteen luontokeskuksesta ja Maria Suoraniemi VTT:sta. Tutkimuslinjat oli merkitty sekä maastoperuskarttoihin että paikkatietokannasta tulostettuihin karttoihin ja taulukoihin koordinaatteina. Tutkimuslinjan numerointi oli täten määrätty ennalta. Linjalle saavuttaessa veneellä varmistettiin kartan avulla oikea sijainti. Vedenpinnan taso määritettiin vaakitemalla. Mittaukset sidottiin järven vedenkorkeuden perusteella NN-korkeusjärjestelmään (vedenkorkeutena käytettiin Päi-

jänteellä Kalkkisten asteikkoa ja Keiteleellä Viitasaaren asteikkoa, lukema tarkistettiin päivittäin). Sekä normaali- että erityislinjalla tehtiin kaikki seuraavassa kuvatut mittaukset.

Tutkimuslinjan määrittämisessä pitäydyttiin mahdollisimman tarkasti ennalta määrättyssä pisteessä, kuitenkin niin että linjaa ei sijoitettu esimerkiksi ruopatus venevalkaman päälle tai vaikkapa pyykkilaiturille. Tutkimuslinjan alkupää kytkettiin Päijänteellä tasoon NN +79,50 m, mikäli sen määrittäminen oli teknisesti mahdollista. Linja vedettiin rantaan nähden kohtisuorasti (arviointi kartan perusteella ja silmämääräisesti rannalla). Keiteleellä vaa'itus aloitettiin vesirajasta ja tehtiin maalle päin tulvavyöhykkeen ylärajaan saakka, ulapalle päin alimman sublitoraalin alarajaan saakka. Linjan avautumissuunta mitattiin kompassilla. Joka linjalta otettiin myös 2 - 3 valokuvaa sekä lähtöpisteestä ulapalle päin että kahluusvyöhykeltä maalle päin. Profiili piirrettiin samalla tavoin kuin virkistyskäyttötutkimuksessa. Maarannan puolella merkittiin lattalukema sekä etäisyydet vesirajasta metreinä (+) ja vesirannan puolella merkittiin syvyys ja etäisyys metreinä (-). Lattalukemista ja syvyyksistä laskettiin absoluuttiset korkeudet. Etäisyyksien ja korkeuksien avulla piirrettiin rannan profiili. Vedensyvyys mitattiin joko latalla tai käsikaikuluotaimella.

Profiililta mitattiin pohjan laatu (kallio, kivikko, sora/hiekka, turve, pehmeä pohja). Ranta-alueen keskimääräinen maaperä määritettiin luokituksella:

- harjualueet (mäntyvaltainen kasvillisuus),
- moreenia (kuuset ja lehtipuut) ja
- turvetta (soistuneet lahdenpohjukat).

Profiilille merkittiin myös virkistyskäyttötutkimusten tavoin pääkasvillisuusvyöhykkeiden vaihtumiskohdat ja niiden syvyystaso. Profiilin teossa käytettiin apuna mittanauhaa/köyttä, jota pitkin edettiin ylemmältä vyöhykkeeltä alaspäin.

Tutkimuslinjalta eriteltiin tulvavyöhyke (Päijänteellä supra- ja yläeulitoraali, NN +79,13 - 78,53 m; Keiteleellä supralitoraali, NN +100,01-99,72 m), jolta tehtiin seuraavat mittaukset:

- kasvittumisaste (silmämääräisesti arvioitu peittävyys %)
- sukkessioindikaattorityyppien peittävyys arvioitiin suoraan mittanauhasta (ruohot, pensaisto, puusto, sammalet) leveytenä.

Toisena vyöhykkeenä eriteltiin varsinaisen umpeenkasvun alue (Päijänteellä keski-ala-eulitoraali, NN +78,52 - 78,24 m; Keiteleellä ylä-, keski- ja alaeulitoraali, NN +99,71-99,28 m), sekä sitä alempi vyöhyke (sublitoraali, NN +78,23 - 77,9 m), jolta määritettiin:

- turpeen muodostumisen eteneminen turpeen paksuutena (kenttälapion ja piikin avulla) ja leveytenä
- kasvittunut alue (ilmaversoiset, kelluslehtiset) mitattiin leveytenä.

Linjalta määritettiin kaikki tavatut lajit kiinnittäen erityistä huomiota umpeenkasvun indikaattorilajeihin ja merkittiin niiden suhteellinen yleisyys kaavakkeelle. Linjaksi käsiteltiin noin 10 metriä leveä alue kahta puolta narua (noin 20 m). Lajihavaintojen teossa käytettiin hyväksi vesikiikaria ja haraa. Lajien yleisyys arvioitiin 7-asteikolla, joka on muunnettavissa prosenttiasteikoksi seuraavasti:

- 1 = hyvin harvinainen, yksi havainto,
- 2 = harvinainen, alle 1 %,
- 3 = jokseenkin harvinainen, 1-5 %,
- 4 = melko yleinen, 6-25%,
- 5 = jokseenkin yleinen, 26-50%,
- 6 = yleinen, 51-75%,
- 7 = hyvin yleinen, 76-100 %

Keskimääräisestä ruovikko-, kortteikko- ja kaislikkokasvustosta määritettiin versojen tiheys (0,25 m² ruutu) ja keskimääräinen pituus (cm).

Erityislinjalla tehtiin lisäksi seuraavat tutkimukset, joiden tarkoituksena oli parantaa tutkimuksen tarkkuutta ottaen huomioon erityisesti kasvillisuuden syvyysvyöhykkeisyys ja vaihtelut runsaudessa. Eulitoraalilta, ylä- ja alasublitoraalilta tutkittiin vyöhykkeittäin erilliset viisi kasvillisuusruutua (koko 1 m²; valittiin satunnaisesti vyöhykkeeltä heittämällä merkitty kivi ilmaan, putoamispaikka ruudun rannan puolimmainen vasen nurkka). Kasvillisuusruudulta määritettiin kaikki lajit ja niiden peittävyys prosenttiasteikolla +, 1, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 30 ... 90, 100 %. Keiteleellä peittävyys arvioitiin suoraan 7-asteikolla.

Kasvillisuusruudulta määritettiin myös pohjan pehmeys penetrometrillä (Häkanson & Jansson 1983).

Varsinaisen rannan yläpuolella tehtiin seuraavia havaintoja töitä tukevista muuttujista:

- suojavyöhykkeen (Päijänteellä vyöhyke tulvarajan NN +78,70 m ja vanhan rantapenkan välissä, joka joskus on näkyvissä noin tasolla NN +79,50 - 80,00 m) leveys ja laatu (ruohot, pensaat, puut).
- arvioita piste- ja hajakuormituksen laadusta (pellon laatu, kaltevuus, metsäojat, joet, purot, ojat, lantalat jne.) ja etäisyydestä kohteesta.

Linjan ulkorajalla tehtiin lisäksi seuraavat mittaukset; kasvillisuuden (yleensä tummalahnaruoho) ulkorajan syvyys, näkösyvyys (valkolevyn ja vesikiikarin avulla) sekä muita mahdollisia havaintoja.

3.2.3 Kasvillisuusaineiston käsittely

3.2.3.1 Kasvillisuusindeksin laskenta

Pelkkä yleisyys tai runsaus ei anna riittävää kuvaa kasvin esiintymisestä, sillä yleinenkin kasvi voi olla harvalukuinen tai jollakin havaintopaikalla runsaana esiintyvä laji koko alueen mitassa harvinainen. Kasvillisuusindeksi yhdistää lajin yleisyyden ja runsauden, jolloin saatu tunnusluku kuvaa lajin kokonaisesiintymistä tutkimusalueella. Elomuodoittain laskettuna indeksin on todettu kasvavan eutrofian lisääntyessä (mm. Niemi 1990). Kasvilajien esiintymisen ja lajiston muutosten analysoimiseksi jokaiselle lajille laskettiin kasvillisuusindeksi, joka yhdistää lajin yleisyyden ja runsauden. Kasvillisuusindeksit voitiin laskea vain vuoden 1996 ja 1997 aineistosta, sillä lajien runsauksia ei ole määritetty aiemmin.

Kasvillisuusindeksi laskettiin Ilmavirran ja Toivosen (1986) esittämällä kaavalla:

$$V = 2(\text{yleisyys} + \text{runsaus}) - 1 \quad (1)$$

missä:

V = kasvillisuusindeksi,
yleisyys = kuinka monella tutkituista kasvupaikoista
laji on esiintynyt (%) ja
runsaus = lajin keskimääräinen peittävyys kasvupaikoillansa.

Runsauksia voidaan laskea myös kaikkien koealueiden keskiarvona, tässä tutkimuksessa se laskettiin vain alueilla, missä ko. laji esiintyi. Yleisyys ja runsaus muutettiin prosenteista seitseenasteikolle seuraavasti taulukon 2 mukaisesti.

Säännöstelyindeksi on johdettu Ilmavirran ja Toivosen (1986) kasvillisuusindeksistä ja se huomioi kasvilajin yleisyyden luokan sisällä ja peittävyyden. Jokaiselle tutkitulle kasvilajille on laskettu säännöstelyindeksit ryhmittäin (kuivumista

Taulukko 2. Seitsenasteikon ja prosenttiasteikon vastaavuus

| Seitsenasteikko | prosenttiasteikko |
|-----------------|-------------------|
| 1 | <0,5 % |
| 2 | 0,5-1 % |
| 3 | 1-5 % |
| 4 | 6-25 % |
| 5 | 26-50 % |
| 6 | 51-75 % |
| 7 | 76-100 % |

kestävien lajien indeksi = k, tulvaa kestävien maakasvien indeksi = t, jäätyvällä vyöhykkeellä menestyvien lajien = j ja routivaa vyöhykettä karttavien lajien = r) seuraavalla tavalla:

$$k = 2^{(yleisyys+runsaus-1)} \quad (2)$$

jossa:

yleisyys = linjalla esiintyvien kuivumista kestävien vesikasvien lukumäärä suhteessa muihin kuivumista kestävien lajien määrään (yht. 9 kpl)

runsaus = linjalla esiintyvien kuivumista kestävien vesikasvien peittävyyksien keskiarvo

Kasvilajiston ryhmäjako on esitetty liitteessä 3.

3.2.3.2 Strategiaindeksin laskenta

Kasvilajien menestymiseen ja sukkessioon vaikuttavat tekijät voidaan jakaa stressiä (S-strategia) ja häiriötä (R-strategia) aiheuttaviin. Mikäli stressi ja häiriö ovat vähäisiä, tulee kilpailusta (C-strategia) lajistoa ja kasvillisuutta muokkaava tekijä (esim. Nykänen 1998). Stressiä aiheuttavia tekijöitä voivat Päijänteellä olla esimerkiksi valon puute (tiheät kasvustot) tai veden puute (kuivuminen matalan veden aikana). Häiriötekijöitä voivat olla esimerkiksi kasvualustan eroosio, voimakas aallokko tai jäätyminen.

Habitaatin potentiaalinen tuottavuus määrää strategiaelementtien osuuden eri sukkessiovaiheissa. Tuottavissa habitaateissa voimakas kilpailu on tyypillistä sukkession keskivaiheissa, loppuvaiheessa taas stressistrategistien osuus lisääntyy. Tuottamattomissa habitaateissa biomassa pysyy pienenä lähes koko sukkession ajan ja sukkessio siirtyy lähes suoraan häiriövaiheesta stressivaiheeseen. (Alasaarela ym. 1993).

Muutokset ympäristössä muuttavat kasvillisuutta ja samalla eri strategiaelementtien suhteellisia osuuksia. Muutosten perusteella voidaan arvioida ympäristössä tapahtuneiden muutosten suuntaa ja rakennetta.

Tutkittavan alueen strategiaindeksi lasketaan kasvilajin runsauksilla/yleisyyksillä painotettujen lajin strategiaelementtien suhteellisten osuuksien keskiarvona. Indeksien laskemisessa käytettiin Rørslettin (1989) kaavaa (3)

Päijänteen kasvillisuuden strategiaindeksit laskettiin vuosien 1954 ja 1974 koko järven sekä 1996 osa-alueiden (EP, KP, PP) kasvillisuusaineiston perusteella.

3.2.3.3 Kasviston luokittelu rehevöitymisen suhteen

Kasvilajit luokiteltiin kasvupaikan trofiatason mukaan seitsemään eri luokkaan: oligotrofantit (o), oligo-mesotrofantit (o-m), mesotrofantit (m), meso-entrofantit (m-e), entrofantit (e), oligo-entrofantit (o-e) ja indifferentit. Luokittelun pohjana on käytetty Toivosen (1981, 1984) trofialuokitusta (liite 4). Lajien yleisyyden perus-

$$f_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^m a_{ik} w_{kj}}{\sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^p a_{lk} w_{kj}} \quad (3)$$

$i=1, \dots, n; j=1, \dots, p$

jossa

| | | |
|----------|---|--|
| n | = | järvien lukumäärä |
| m | = | kasvilajien lukumäärä |
| p | = | strategiatyyppien lukumäärä |
| f_{ij} | = | strategia-arvo j järvelle i |
| a_{ik} | = | kasvilajin k arvo (yleisyys) |
| w_{kj} | = | strategielementin j suhteellinen osuus lajilla k |

siten että:

$$\sum_{j=1}^p w_{kj} = 1 \quad (4)$$

teella laskettiin jokaiselle luokalle keskimääräinen yleisyys. Trofialuokkien vertailu tehtiin myös perinteisesti kunkin luokan lajilukumäärän perusteella. Tällä tavalla ei saatu kuitenkaan eroja eri havaintovuosien välille. Syynä on se, että indikaattorilajiluokittelussa ovat eri ryhmien lajilukumäärät erilaisia. Esim. meso-eutrofiseksi luokiteltuja lajeja on olemassa 28 ja oligotrofiseksi luokiteltuja vain 7. Siksi on todennäköistä, että meso-eutrofisia lajeja löytyy aina huomattavasti enemmän kuin oligotrofisia. Saadut lajimääräsuhteet ilmaisevatkin enemmän indikaattoriluettelon ryhmien välisiä määräsuhteita kuin todellisia ryhmien välisiä eroja. Tarkastelussa käytettiinkin pääsääntöisesti lajiston keskimääräistä yleisyyttä vertailupohjana.

Trofiaindeksi on johdettu Ilmavirran ja Toivosen (1986) kasvillisuusindeksistä ja se huomioi kasvilajin yleisyyden luokan sisällä ja sen runsauden. Jokaiselle tutkitulle kasvinlinjalle on laskettu trofiaindeksit trofiaryhmittäin (eutrofisten lajien indeksi = e, oligotrofisten lajien indeksi = o) seuraavalla tavalla:

$$e = 2^{(yleisyys+runsaus-1)} \quad (5)$$

jossa:

yleisyys = linjalla esiintyvien eutrofanttien/oligotrofanttien lajien lukumäärä suhteessa kaikkien eutrofanttien (yht. 12 kpl)/oligotrofanttien (yht. 7 kpl) määrään, esim. 6 eutrofanttia linjalla on $50\% = 5$.

runsaus = linjalla esiintyvien eutrofanttien/oligotrofanttien lajien peittävyyskeskiarvo, esim. 7, 5, 6 = 5.

3.2.3.4 Kasviston luokittelu umpeenkasvun mukaan

Umpeenkasvua indikoivien lajien määrää kuvaava umpeenkasvuindeksi on laskettu samalla periaatteella kuin trofiaindeksi:

$$UI = 2^{(yleisyys+runsaus-1)} \quad (6)$$

jossa:

yleisyys = linjalla esiintyvien umpeenkasvun indikaattorilajien lukumäärä suhteessa umpeenkasvun indikaattoreiksi luokiteltavien lajien määrään (yht. 9 kpl, kts. liite 3). Prosenttiluku muutettu seitsenas-teikolle samalla tavalla kuin kasvillisuusindeksin tapauksessa.

runsaus = linjalla esiintyvien umpeenkasvun indikaattorilajien peittävyysien keskiarvo

Ilmaversoiskasvillisuuden leveyttä rantavyöhykkeellä on käytetty myös umpeenkasvun indikaattorina. Ilmaversoiskasvillisuuden leveys on mitattu maastossa jokaiselta rannan vyöhykkeeltä suhteessa vyöhykkeen leveyteen (% vyöhykkeen leveydestä). Muuttujatarkastelua varten on otettu keskiarvo kaikkien neljän vyöhykkeen ilmaversoisprosentista.

3.3 Rantavyöhykkeen kasvipeitteeseen vaikuttavat tekijät

3.3.1 Yleiset taustamuuttujat

Taustamuuttujien määrittely ovat tehneet kartta-analyysinä Ritva Saarnisto (Päijänne) ja Kalle Nuortimo (Keitele) VTT:stä.

3.3.1.1 Rannan kaltevuus

Rannan laskennallinen kaltevuus (%) mitattiin Päijänteen ja Keiteleen merikorteilta 3 metrin syvyyskäyrään asti. Kaltevuus laskettiin seuraavasti:

$$K = S/E \cdot 100 \quad (7)$$

missä:

K = kaltevuus (%)

S = 3 (m)

E = etäisyys rantaviivasta (m)

Lisäksi kaltevuus määritettiin maastossa sekä virkistyskäyttö- että kasvillisuusryhmän toimesta. Kunkin osa-alueen rannan kaltevuudesta piirrettiin kuvaajat rantavyöhykkeiden (tulvavyöhyke, eulitoraali, yläsublitoraali, alasublitoraali) keskimääräisen leveyden ja korkeustietojen perusteella.

Vyöhykkeiden kaltevuuden eroa järven eri osissa testattiin Mann-Whitney U-testillä (ei-normaalisti jakautunut aineisto). Vertailuparit olivat seuraavat jokaisella vyöhykkeellä: EP-KP, KP-PP, EP-PP, KEI-PP, KEI-KP ja KEI-EP.

3.3.1.2 Avoimuus

Karttakeskuksesta hankittiin digitaalinen vesistöviiva-aineisto (Maanmittauslaitos 1996), joka rantapisteitä vähentävän ohjelman jälkeen yhdistettiin avoimuutta laskevaan tietokoneohjelmaan. Ohjelman on laatinut hydrologi Heimo Vepsä Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskuksesta. Ohjelma tunnistaa rantaviivan muodon ja laskee avoimuuden Håkansonin ja Janssonin (1983) tuulenpyyhkäisyalan (fetch) kaavalla:

$$L_f = \sum x_i \cdot \text{cost}_i / \sum \text{cost}_i \cdot s' \quad (8)$$

missä:

$\sum \text{cost}$ = 13,5 (vakio)

s' = mittakaavavakio

$\sum x_i$ = mitattujen ulappapituuksien summa

3.3.1.3 Muoto

Avoimuus laskettiin myös rannan muotona Palomäen (1992) kehittämällä menetelmällä (kuva 5). Tuuliviuhkassa tehollisen pituuden miniminä käytettiin 500 metriä eli avoimuuskulman rajaavat avoimuusarvot olivat vähintään puoli kilometriä. Lisäksi laskettiin myös vastaava avoimuuskulma 1000 metrin tuulenpyyhkäisyalalle. Mittaukset tehtiin edellä mainitulla Heimo Vepsän laatimalla ohjelmalla.

3.3.1.4 Kaltevuuden, fetchin ja muodon korrelaatiotestit ja järven eri osien vertailu

Kaltevuuden fetchin ja muodon korrelaatiota koko aineistossa ja järven eri osissa tarkasteltiin Spearmanin korrelaatiotestin avulla (otokset eivät noudattaneet normaalijakaumaa, joten ei-parametrinen testi). Eroja järven eri osissa tarkasteltiin toisistaan riippumattomien otosten t-testillä (normaalisti jakautuneet otokset) tai Mann-Whitneyn U-testillä (ei-normaaliset jakaumat).

3.3.2 Vedenkorkeuden vaihtelu

Vedenkorkeusanalyysillä pyrittiin löytämään tutkittavien järvien vedenkorkeusvaihtelusta sellaisia kvantitatiivisia muuttujia, joilla pystytään selittämään kasvilisyyden erilaisuutta Päijänteessä ja Keiteleellä rannoilla sekä arvioimaan säännöstelyä ja sen mahdollisten muutosten vaikutusta kasvillisuuteen. Menetelmät tuloksineen on kuvattu kappaleissa 5 ja 6. Toisena osana vedenkorkeusanalyysissä oli vedenkorkeuden vaihteluvyöhykkeiden määrittäminen vedenkorkeuden pysyvyyden avulla. Vaihteluvyöhykkeet sidottiin korkeustasoon (NN+), jolloin maastomittaukset voitiin tehdä kaikilla rannoilla samoilta vyöhykkeiltä. Tarkastelu tehtiin maastotutkimuksia varten, käyttäen ajanjaksona Päijänteellä vuosia 1964-95 ja Keiteleellä vuosia 1964-96, joten vyöhykkeiden ulottuvuus poikkeaa lievästi varsinaisen vedenkorkeusanalyysin tuloksista, jotka on laskettu vuosille 1971-96.

Vedenkorkeuden vaihteluvyöhykkeet määritettiin Hellstenin (1997) mukaan kasvukauden (8.5 - 30.9) aikaisen vedenkorkeuden pysyvyyden (d) avulla (taulukko 3). Tarkastelujakso oli Päijänteellä ja Keiteleellä 1964-96. Päijänteellä käytettiin Kalkkisten ja Keiteleellä Viitasaaren asteikolla mitattua vedenkorkeusaineistoa.

Tässä tutkimuksessa vyöhykejakoja muutettiin siten, että Päijänteellä supra- ja yläeulitoraali yhdistettiin ja nimettiin tulvavyöhykkeeksi. Muuttamisen syynä oli Oulujärven kasvillisuuden pitkäaikaisseurannassa tehty havainto, jonka mukaan alaspäin säännöstellyissä järvissä tämä vyöhyke kuvaa parhaiten umpeenkasvun kehittymistä Nykänen (1998). Keiteleellä tulvavyöhyke käsittää pelkän supralitoraalin.

Eulitoraali käsittää Päijänteellä keski- ja alaeulitoraalin, Keiteleellä lisäksi yläeulitoraalin. Ylä- ja alaeulitoraali yhdistettiin molemmilla järvillä ja tästä vyöhykkeestä käytetään nimitystä ylin sublitoraali. Alimmaksi sublitoraaliksi kutsutaan

Taulukko 3. Vedenkorkeuden pysyvyysvyöhykkeet Päijänteellä ja Keiteleellä.

| Vyöhyke | Pysyvyys (% kasvukaudesta) | Vyöhykkeen korkeus NN+(m) | |
|------------------|-------------------------------|---------------------------|--------------|
| | | Päijänne | Keitele |
| Supralitoraali | $0\% < d < 10\%$ | 79,13-78,67 | 100,01-99,72 |
| Yläeulitoraali | $10\% < d < 25\%$ | 78,66-78,53 | 99,71-99,57 |
| Keskieulitoraali | $25\% < d < 50\%$ | 78,52-78,40 | 99,56-99,43 |
| Alaeulitoraali | $50\% < d < 75\%$ | 78,39-78,24 | 99,42-99,28 |
| Yläsublitoraali | $75\% < d < 95\%$ | 78,23-77,90 | 99,27-99,11 |
| Alasublitoraali | $95\% < d < 100\%$ | 77,89-77,64 | 99,10-98,98 |

0,5 m 100 % pysyvyysrajan alapuolella olevaa vyöhykettä. Käytännössä tämä oli taso, jolle asti mittauksia voitiin kelluntapuvulla tehdä. Taso on myös lähellä järviruo'on esiintymisen alarajaa. Vedenkorkeuden vaihteluvyöhykkeitä kutsutaan tässä tutkimuksessa edelleen rantavyöhykkeiksi.

3.3.3 Pohjan jäätymisen laskenta

Talvisen laskeutuvan jään laskennassa käytettiin vakiintunutta laskentatapaa, joka perustuu Kuhmon säännöstelyjärvillä tehtyihin havaintoihin (Hellsten ym. 1989) ja edelleen Hellstenin (1997) kuvaamaan laskentatapaan. Rantavyöhykkeeltä eroteltiin a) jäätyvä vyöhyke, jossa lähellä rantaa jää painuu pohjaa vastaan jäädyttäen samalla pohjasedimentin sekä b) jäänpainumavyöhyke, jolla jää ainoastaan painuu pohjaa vasten jättäen pohjasedimentin pinnan sulaksi.

Jäätyvän pohjan syvyys (D_f) voidaan laskea seuraavasti:

$$D_f = (W_{om} - W_f) + (0,9 * I_s) \quad (9)$$

jossa:

W_{om} = vedenkorkeuden avovesikautinen (10.5.-30.9) keskiarvo, W_f on vedenkorkeus 6. helmikuuta, I_s on jään paksuus rantavyöhykkeellä ja 0,9 on jään ominaispaino.

Jäänpainuma alueen alaraja (D_p) taas voidaan laskea seuraavasti:

$$D_p = (W_{om} - W_{il}) + (0,9 * I_s) \quad (10)$$

jossa:

W_{il} = keskimääräinen alin vedenkorkeus jääpeitteisenä kautena.

Pohjan jäätymisen ja jäänpainuma-alueen merkittävyyden arvioimiseksi laskettiin tuottavan kerroksen paksuus seuraavasti (Eloranta 1978):

$$E_r = 0,25 C^{0,42}, r = -0,82, n = 30 \quad (11)$$

missä:

E_r = punaisen valon vaimenemiskerroin ja C on veden väri (mg Pt l⁻¹).

Syvyysvyöhyke (D_r), jonka saavuttaa 4.5 % (pohjalehtisen kasvillisuuden syvyysraja-arvo) punaisesta valosta on laskettavissa seuraavasti Lambert-Beer lain perusteella:

$$D_r = -\ln(0,045) / E_r \quad (12)$$

Menetelmää on sovellettu pääosin pohjoisissa olosuhteissa, joten sen antamiin tuloksiin kannattaa suhtautua kriittisesti. Menetelmän toimivuuden varmistamiseksi tehtiin 3.4.1996 kaksi tarkistuslinjaa (hiekk- ja moreeniranta) Tikan alueella Pohjois-Päijänteellä. Tarkistuslinjoilla kairattiin jään läpi reikiä ja tarkistettiin oliko pohjasedimentin pinta-osa jäässä. Linjojen profiili mitattiin vaa'itsemalla (kts. 5.4.2).

3.3.4 Maankohoamisnopeus

Maankohoamisnopeudet on määritetty Geodeettisen laitoksen II mittauksen perusteella Jarmo Huovisen (Keski-Suomen ympäristökeskus) toimesta. Maankohoamisnopeuden isobaarit siirrettiin Päijänteen kartan päälle ja jokaisella tutkimuslinjalle laskettiin oma maankohoamisnopeuden arvo mittaamalla sen etäisyys läheisistä isobaareista ja laskemalla arvo etäisyyksien funktiona.

3.3.5 Valuma-alueen ominaisuudet

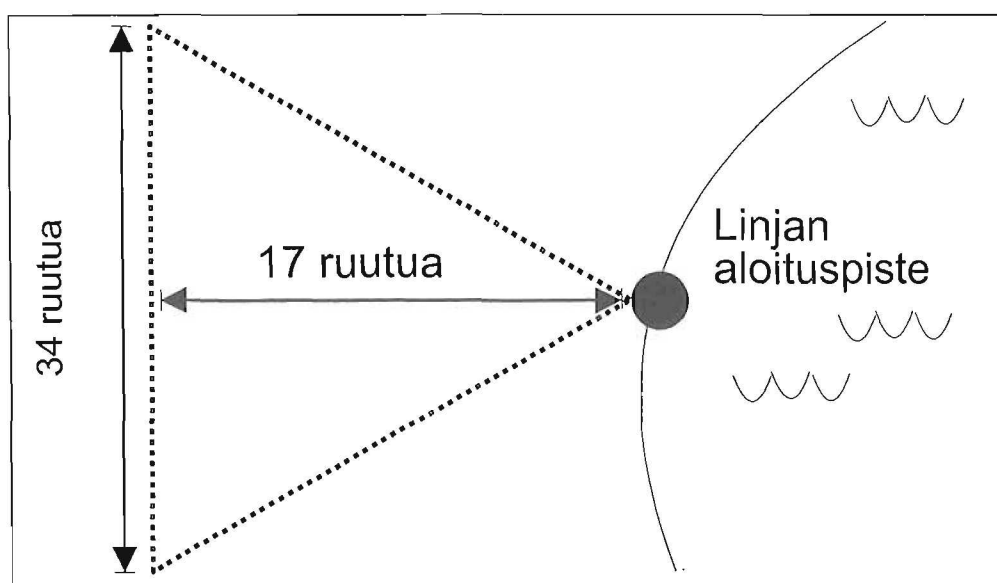
Valuma-alueanalyysin on tehnyt Jarmo Huovinen Keski-Suomen ympäristökeskuksesta. Jokaisen kasvilinearjan lähivaluma-alueen (käytetään edelleen nimitystä valuma-alue) maankäyttö on selvitetty karttatarkasteluna. Peruskartalta (mittakaava 1:20 000) on mitattu valuma-alueen eri maankäyttömuotojen (pelto, metsä ja suo) pinta-alat seuraavalla menetelmällä: Kartan päälle asetettiin ruudukko (kuva 6) ja laskettiin ruutujen määrä kullakin maankäyttötyypillä. Maankäyttömuodon kokonaispinta-ala valuma-alueella saatiin kertomalla ruutujen määrä 3600:lla. Valuma-alueen maaperä selvitettiin maaperäkartan avulla.

Kasvilinjojen pienvaluma-alueilta mitattiin suuri joukko muuttujia, jotka on esitetty seuraavassa luettelossa lyhenteiden kera: MUOTO1 muoto 1 km, MUOTO 0 muoto 0,5 km, FETCH avoimuus m, NS näkösyvyys kasvilinearjan ulkopuolella, PELTOET pellon etäisyys kasvilinearjasta, RNNEKALT rinnekaltevuus Päijänteellä pisteestä 79,50 m m.p.y 100 metrin korkeuskäyrään ja Keiteleellä pisteestä 99,50 m m.p.y. 120 metrin korkeuskäyrään, RNTAKALT rannan kaltevuus vesirajasta n. 3 metrin syvyyskäyrään, RAKLKM rakennusten lukumäärä valuma-alueella, VALALA valuma-alueen pinta-ala, PELTO% peltojen osuus pinta-alasta (vastaavasti myös metsän ja soistuneiden maiden pinta-ala), PURKUET purkupaikkojen (ojat, purot, joet) etäisyys kasvilinearjasta, KOK-N ja KOK-P lähimpien ulappapisteen veden tyyppi ja fosforipitoisuus (kts. kappale 3.3.5), VARI lähimpien ulappapisteen veden väri, VAL P-K valuma-alueen fosforikuormitus, VAL N-K valuma-alueen typpekuormitus, MAAPERÄ rannan maaperä (1=turve, 2=moreeni, 3=harju, 4=kallio).

Valuma-alueen kuormitustarkastelu perustuu seuraaviin kuormituslukuihin, jotka on määritetty Päijänteen hajakuormitustutkimuksen alustavista tuloksista (Matti Saura, kirjallinen tiedonanto). Tutkimuksessa mitattiin vuosina 1996-97 16 eteläisen Päijänteen valuma-alueen kuormitusarvot. Keskimääräiset vuosittaiset kuormitusarvot on esitetty taulukossa 4.

Tuloksista laskettiin kuormitukset jokaiselle lähivaluma-alueelle seuraavasti:

- Perushuuhtouma lasketaan koko valuma-alueen pinta-alalle.
- Maatalous antaa lisäkuormituksen, joka on yhtä kuin pellon ala kerrottuna maatalouden ominaiskuormituksella.



Kuva 6. Valuma-alueanalyysissä käytetty apukolmio ja sen sijoittaminen kartalle suhteessa tutkimuslinjan sijaintiin. Yhden ruudun pinta-ala on 9 mm^2 ja $3\,600 \text{ m}^2$.

- Metsien ja soiden pinta-ala tuottaa metsätalouden verran lisäkuormitusta.
- Haja-asutusta on Etelä-Päijänteellä keskimäärin kolme asuinrakennusta neliökilometrillä, joista arviolta puolet on loma-asuntoja, joiden kuormitus on vähäinen. Kuormitus lasketaan jakamalla asuinrakennusten määrä kahdella ja kertomalla se keskimääräisellä kuormituksella.

Kasvillisuusmuuttujina tarkasteltiin seuraavia: UINDEX umpeenkasvuindeksi (katso 3.2.3.4), UMAX suurin yksittäisen umpeenkasvun indikaattorilajin peittävyys linjalla, UPEITT umpeenkasvun indikaattorilajien keskipeittävyys linjalla, EINDEX eutrofiaindeksi, EPEITT (kts. UPEITT), EMAX (kts. UMAX), OINDEX oligotrofia-indeksi (kts. UINDEX), OPEITT (kts. UPEITT), OMAX (kts. UMAX), PHRPEITT järviruo'on peittävyys linjalla, KORTEKOR kortteen korkeus, KORTETIH kortteen tiheys, RUOKOKOR ruo'on korkeus, RUOKOTIH ruo'on tiheys, ILMAVERS ilmaver-soisvyöhykkeen leveys linjalla.

3.3.6 Lähialueen veden laatu

Koosteen Päijänteen vedenlaatutuloksista on tehnyt Risto Palomäki ja Keiteleen osalta Jarmo Huovinen Keski-Suomen ympäristökeskuksesta. Vedenlaatumuuttujista on tarkasteltu kokonaisfosfori- ja -typpipitoisuuksia sekä väriä. Päijänteellä on kerätty tiedot 22 eri ulappapisteen veden laadusta 1980- ja 1990-luvulla. Näistä lähempään tarkasteluun on otettu 1990-luvun vedenlaatuaineisto. Keiteleellä on kerätty 26 havaintopisteen vedenlaatutiedot 1990-luvulta. Osa havaintopisteistä on lahtialueilla, osa selkävesillä.

Jokaiselle kasvilinjalle on etsitty lähimmät vedenlaatupisteet, ja linjan lähialueen veden laatu on intrapoloitu noiden havaintopisteiden veden laadun perusteella. Tarkastelu ei sinänsä kuvaa kovin hyvin vedenlaatua kasvilinjoilla, mutta suojaisten lahtien aineiston vähälukuisuuden vuoksi päädyttiin em. tarkasteluun.

Lisäksi molemmilla järvillä on tehty näkösyvyys- ja valaistusmittauksia kesien 1996 ja 1997 maastotutkimusten yhteydessä. Näkösyvyys mitattiin valkolevyn avulla. Valaistusmittaus tehtiin Licor 2000-valaistusmittarilla, joka mittaa pinnalla olevaan anturiin ja veden alle upotettuun anturiin kohdistuvan valon intensiteetin suhdetta. Valaistusmittauksella voitiin siis selvittää kuinka suuri osuus pinnalle tulevasta valosta tunkeutuu syvempiin vesikerroksiin ja tätä kautta saatiin selville valaistun ja tuottavan vesikerroksen paksuus.

3.4 Elinympäristöjen kartoitus

3.4.1 Tutkimusalueiden otanta

Elinympäristökartoitusta varten Päijänne jaettiin kolmeen osa-alueeseen: Etelä-, Keski- ja Pohjois-Päijänteeseen. Kartoituksessa käytettiin Palomäen (1992) kehittämää menetelmää, joka koostuu kunkin osa-alueen rantahabitaattien rakennetta ylläpitävien tekijöiden erittelystä ja ilmakuvauksesta. Ilmakuvaus suoritettiin

Taulukko 4. Etelä-Päijänteen pienvaluma-alueiden keskimääräinen kuormitus vuonna 1996 Päijänteen hajakuormitustutkimuksen mukaan.

| | Keskimääräinen kuormitus kg/km ² /vuosi | | | |
|---------|--|-------------|-------------|---------------|
| | Maatalous | Haja-asutus | Metsätalous | Perushuhtouma |
| Fosfori | 30,0 | 1,3 | 1,0 | 6,0 |
| Typpi | 1200,0 | 11,3 | 2,0 | 150,0 |

kultakin osa-alueelta valituilta otanta-alueilta (kuva 7). Otanta-alueet koostuvat satunnaisotannalla valituista 5 km mittaisista rantaosuuksista, joita edettiin otantapistestä lähtien myötäpäivään. Lähtöaineistona oli 1781 kpl kohtia, joissa koordinaatti leikkaa suojaisen lahtialueen rantaviivan (kuva 5). Otanta-alueita valittiin niin monta, että tutkittavan rantaviivan kokonaispituudeksi tuli vähintään 240 km eli noin 11 % koko rantaviivasta. Kultakin osa-alueelta valittiin siis 16 otanta-alueita.

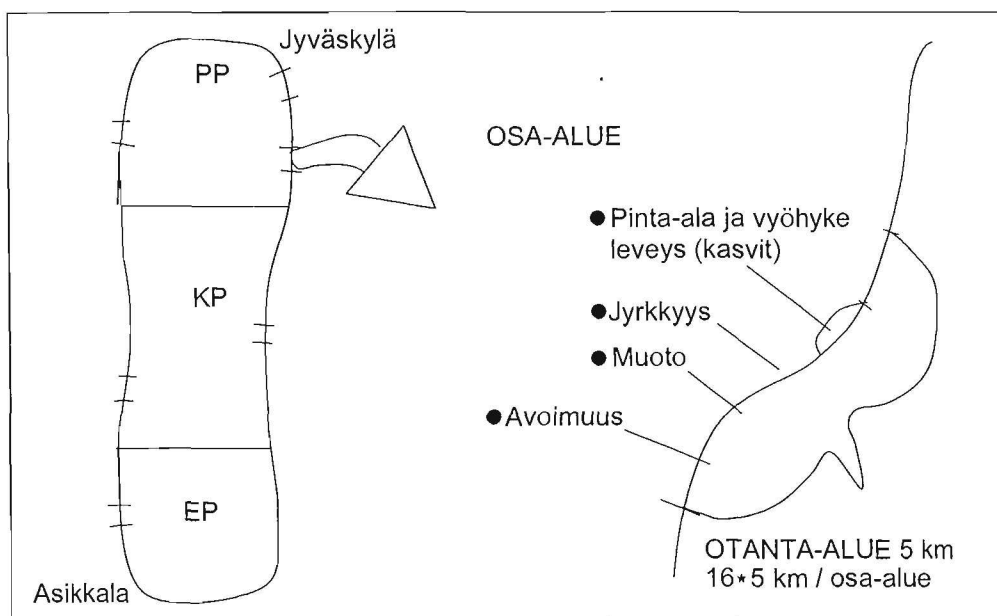
Lisäksi valittiin kultakin otanta-alueelta satunnaisotannalla peräti 391 apulinjaa, jotka merkittiin peruskarttaan.

3.4.2 Ilmakuvaus

Päijänteen rantahabitaattien ilmakuvauksen ja siihen liittyvän kasvillisuusalueiden tulkinnan teki Biologitoimisto Jari Venetvaara ky. Kuvaus suoritettiin 800 metrin korkeudelta kinokoon väridialle 21.-25.7.1996. Kuvattu rantaviivan pituus oli 240 kilometriä ja kuvien kokonaismäärä oli yhteensä 1 300 kpl. Mittakaava oli noin 1: 7000. Kehystetyt diat heijastettiin seinään kiinnitetyille valkoiselle paperille, eri kasvillisuusalueet (ruovikot, kortteikot, saraikkoniityt, kaislikot, kelluslehtiset) tunnistettiin ja piirretyt kuvat digitoitiin CorelDraw ohjelmaan (Esa Lammi, Biologitoimisto Jari Venetvaara ky). Vektorimuotoiset tiedostot käännettiin CorelDraw ohjelmassa Autocad muotoon ja edelleen mahdollisen horisontaalikorjauksen jälkeen siirrettiin paikkatieto-ohjelma MapInfoon (Kalle Nuortimo, VTT). Yhteensä tulkinta tehtiin 45:ltä tutkimusalueelta, yhteensopivuusongelmien vuoksi kolmen alueen siirtäminen paikkatieto-ohjelmaan ei onnistunut.

3.4.3 Maastomittaukset

Elinympäristötutkimuksen tarkistuksia tehtiin kesällä 1996 virkistyskäyttötutkimuksista vastanneiden Pohjois- ja Etelä-Päijänteen maastoryhmien toimesta. Ensimmäisen kesän kokemusten perusteella mittausten teko virkistyskäyttötutkimuksen ohessa oli kuitenkin liian vaativaa ja mittaustulosten käytöstä luovuttiin. Vuoden 1997 maastokäyntien yhteydessä todettiin ilmakuvatulkinnan olleen ylim-



Kuva 7. Elinympäristötutkimuksen osa-alueet ja erillisten otanta-alueiden valinta ja mitattavat muuttujat.

män rantavyöhykkeen osalta puutteellinen, joten maastoryhmä suoritti tarkennetun tutkimuksen haukitutkimusten kohdealueilla. Tarkennettuja karttoja käytettiin haukitutkimuksen yhteydessä.

3.4.4 Karttamittaukset

Apulinjoilta mitattiin (Ritva Saarnio, VTT) yleisinä taustamuuttujina rannan kaltevuus, avoimuus ja muoto (kts. 3.3.1). Kasvillisuusvyöhykkeiden leveydet ja pinta-alat laskettiin (Mirja Savolainen, VTT) suoraan paikkatietokannoista.

3.4.5 Vanhojen ilmakuvien tulkinta

Maanmittauslaitoksen ilmakuvapalveluista hankittiin elokuussa 1951-53 kuvattuja mustavalkoilmakuvia (1:20 000) yhdeltätoista osa-alueelta painottuen Etelä-Päijänteen alueelle. Ilmakuvat skannattiin ja siirrettiin paikkatieto-ohjelmaan (MapInfo), jossa tuloksia vertailtiin vuoden 1996 ilmakuviin. Tulkitsijoiden välisen eron kaventamiseksi myös 1996 ilmakuvat tulkittiin uudelleen (Sari Partanen, VTT).

3.5 Rantavyöhykkeen pohjaeläimistötutkimukset

3.5.1 Aikaisemmat pohjaeläintutkimukset

Palomäki (1995) löysi Päijännettä koskevaan kirjallisuuskatsaukseensa aiemmin tehdyistä pohjaeläintutkimuksista yhteensä 28 viitettä. Suurin osa tutkimuksista oli vesistötarkkailuun liittyviä ja koski syvännealueen pohjaeläimistöä. Viisi tutkimusta käsitteli ranta-aluetta, neljässä tutkimuksessa näytteitä oli otettu alle kahden metrin syvyydestä ja vain 2 tutkimusta käsitteli ranta-alueen kaikkia pohjaeläinryhmiä (makrofauna, kokonaisbiomassa; Selin & Hakkari 1976, Hakkari ym. 1978a).

Etelä-Päijänteen ranta-alueen lajistossa esiintyy Hakkarin ym. (1978b) mukaan runsaasti puhdasta ja hapekasta biotooppia vaativia pohjaeläinlajeja, joiden määrä on osoituksena alueen tuolloisesta luonnontilasta. Etelä-Päijänteellä tehdyssä tutkimuksessa, jossa tarkasteltiin säännöstelyn vaikutuksia ranta-alueen pohjaeläimistöön (Hakkari ym. 1978b), havaittiin harvasukamatojen olevan valtaryhmä aineistossa. Tutkimuksessa tarkasteltiin erityisesti kahta riskiryhmätyyppiä: toinen ryhmä, jossa lajit eivät kykene liikkumaan nopeasti ja siksi niiden kannat yleensä romahtavat säännöstelyissä järvissä; toinen ryhmä, jonka lajit kykenevät mukautumaan vedenkorkeuden vaihteluihin aktiivisella liikkumisella. Päijänteellä säännöstelyn pitäisi vaikuttaa voimakkaammin Hakkarin ym. (1978a) mukaan 0,2-1,0 metrin syvyydellä. Tulosten perusteella he totesivat kuitenkin, että lajiston ja pohjaeläinmäärien perusteella säännöstelyllä ei ole kovin selvää vaikutusta rannan pohjaeläimistöön. Päijänteellä pohjaeläinmäärät olivat suhteellisen suuret ja lajiston monimuotoisuus oli monilla tutkimuslinjoilla säännöstelyvyöhykkeellä suurempi kuin sen alapuolella. Rannan karu pohjan laatu näytti vaikuttavan voimakkaammin pohjaeläimistöön kuin säännöstely yksinomaan. Koska mahdollisesti säännöstelystä johtuvia haittavaikutuksia pohjaeläimistölle ja kalan ravintovaralle on vaikea perinteisin tutkimusmenetelmin selvittää, päädyttiin soveltamaan viime vuosina säännöstellyille järville kehitetyin tutkimusmenetelmin tehtävää pohjaeläintutkimusta. Siinä tutkimus ei perustu näytteenottoon ja vertailujärven käyttöön, vaan järven tarkasteltavien habitaattien taustamuuttujien ja pohjaeläimistön riippuvuuk-sien tunnistamiseen ja edelleen mallilaskelmiin.

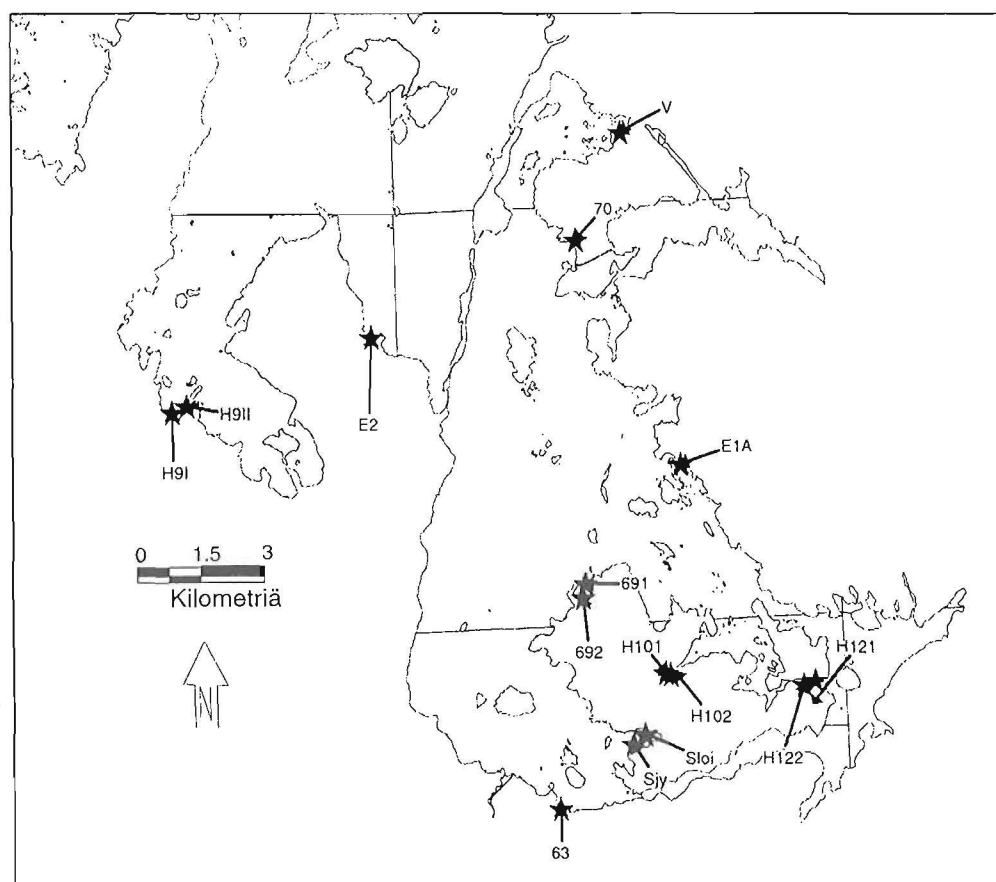
3.5.2 Tutkimusalue

Tutkimusalueeksi valittiin Etelä-Päijänteeltä 61°10'-61°17' pohjoista leveyttä välinen alue (kuva 8). Suhteellisen suppea alue valittiin siksi, että veden laatuvaihtelut jäisivät näytealueiden välillä mahdollisimman pieniksi. Suppean alueen valinnasta hyvä kokemus oli saatu aiemmin samantyyppisessä Inarijärven säännöstelytutkimuksen yhteydessä suoritetussa pohjaeläintutkimuksessa (Palomäki & Hellsten 1996). Suppea tarkastelualue vähentää vedenlaadusta aiheutuvaa vaihtelua ja lisäksi pienemmältä alueelta voidaan laajempaan alueeseen verrattuna tehdä intensiivisempi tarkastelu.

Valitulta alueelta otettiin tarkasteluun eri kaltevuuden omaavia suojaisia lahtialueita. Suojaiset lahtialueet valittiin siksi, koska niillä ranta-alueen kasvillisuuden kehittyminen on häiriöttömämpää kuin avonaisilla ja aallokolle alttiilla ranta-alueilla (ks. Marttunen ym. 1997).

3.5.3 Kerätty pohjaeläinnäytesarja ja käytetyt taustamuuttujat

Asetetun hypoteesin testaamiseksi ja mallin kalibrointia varten kerättiin pohjaeläinnäytteet (5 rinnakkaisnäytettä / näyteasema) 2.-4.9.1997 Ekman-Birge -noutimella yhden metrin syvyydeltä kultakin näyteasemalta (menetelmä, ks. Palomäki ja Hellsten 1996; näytteenottajat: Risto Palomäki ja Pekka Sohlo). Näytteet seulottiin 1,0 mm:n ämpäriseulalla ja ne käsiteltiin välittömästi Asikkalan tukikohdassa (poiminta ja säilöntä 70% etanoliin; poimijat Kirsi Viikilä, Pia Rotko ja Kalle Nuortimo) ja edelleen KSU:ssa (laji- ja painomääritykset; määrittäjä: Risto Palomäki). Näytteitä tuli kaikkiaan 10 näytealueelta (kuva 8) ja 15 näyteasemalta yhteensä 75 näytettä.



Kuva 8. Pohjaeläintutkimuksen näytteenottoalueet Etelä-Päijänteellä syyskuussa 1997.

Pohjaeläinbiomassat määritettiin pääosin Holopaisen ja Paasivirran (julkaisematon, Pääjärvi-projekti) kehittämää taksonikohtaisia pituus-paino-regressiotuloksia hyväksi käyttäen. Tilastollisessa käsittelyssä (Aineiston käsittely ja tilastolliset testaukset: Esa Koskeniemi, Hans-Göran Lax ja Risto Palomäki) käytettiin hyväksi osin samojen alueiden tuloksia habitaattikartoituksessa mitatuista taustamuuttujista ns. elinympäristömuuttujista (Suoraniemi & Hellsten 1997).

Mitatut taustamuuttujat olivat:

- rannan avoimuus mitattuna tarkasteltavan habitaatin ulapalle avautuvan kulman suuruutena (asteina, Palomäki 1992),
- kaltevuus mitattuna rantaviivan etäisyytenä 1 m:n syvyyteen,
- ilmaversoisten ja kelluslehtisten peittävyys mitattuna näiden vyöhykkeiden leveytenä (m),
- kasviyksilöiden (yks. m²) ja -taksonien määrä pohjaeläinnäytteissä (taksonimäärä / 5 rinnakkaisnäytettä) ja
- kasvillisuusvyöhykkeiden lukumäärä (lukumäärä / kohtisuora linja rantaan) näytepaikalla.

3.5.4 Eri elinympäristötyyppien pohjaeläinbiomassan laskenta

Päijänteen eri habitaatit voidaan tyypitellä esimerkiksi habitaatin avoimuuden (AV) mukaan. Inarijärvellä kehitetyn mallin (Marttunen ym. 1997) perusteella kullekin habitaattityypille voidaan laskea keskimääräinen pohjaeläinbiomassa (MZB mg WW / m²) kaavalla:

$$\log \text{MZB} = 4,1544 - 0,0047 \text{ AV} \quad (13)$$

Kehitetty karttaohjelma kuitenkin laskee avoimuuden fetchin (F km, tehollinen tuuliala) perusteella. Tästä syystä fetchin arvo voidaan muuttaa vastaamaan rannan avoimuuskulmaa kaavalla:

$$\text{AV} = 77,480 + 4,466 (10 \times F) \quad (14)$$

Mallin tuloksia voidaan nyt verrata Päijänteeltä tässä tutkimuksessa saatuihin suojaisten alueiden arvoihin. Tulosten perusteella arvioitiin mallin kalibrointitarve. Koko Etelä-Päijärnettä koskevassa tarkastelussa käytettiin kaavaa:

$$\sum_{s=1-3} Pa_n * \text{MZB}_s \quad (15)$$

$s=1-3$

jossa:

MZB = pohjaeläinbiomassa Etelä-Päijänteen litoraalisissa

s = rannan avoimuusluokka

Pa_n = osa-alueen n ylimmän rantavyöhykkeen (0-3 m:n syvyysvyöhyke) pinta-ala.

Pohjaeläimistön biomassaa muutettaessa tuorepainosta (WW) tuhkatomaksi kuivapainoksi (ODW) käytettiin kerrointa 0,11.

3.6 Yhteenveto mitatuista rantavyöhykkeen muuttujista

Rantavyöhykkeellä mitatut muuttujat on eroteltu taulukossa 5. Osa muuttujista on suoraan maastossa tai kartalta mitattuja, osa taas on muodostettu laskennallisesti käyttäen aineistona em. havaintoja.

Taulukko 5 . Kasvilinjoilta mitatut muuttujat ja niiden määrittelytavat.

| Muuttuja | Määrittelytapa |
|---|---|
| 1. maankohoamisnopeus | mm/a |
| 2. lähivaluma-alueen maankäyttö | % |
| a) pinta-ala | km ² |
| b) pellon, metsän ja suon osuus | % |
| c) pellon etäisyys kasvilinjasta | m |
| d) rinnekaltevuus | % |
| e) asuinrakennusten lkm | kpl |
| f) purkupaikan etäisyys linjasta | m |
| 3. läheisen ulapan vedenlaatu | kok-P, kok-N, näkösyvyys |
| 4. kasvilinjan avoimuus | a) avautumiskulman suuruus 0,5 ja 1 km:n päässä rannasta (=muoto) b) tuulenpyyhkäisyalan avulla laskettuna (fetch) |
| 5. rannan kaltevuus | a) karttatarkasteluna (%) b) maastomittaus syvyysvyöhykkeittäin (%) |
| 6. pohjan laatu | pohjatyypin leveys (m) |
| 7. pohjan pehmeys | penetrometrin terävimmän piikin tunkeutumissyvyys (cm) |
| 8. ranta-alueen maaperä | harjualue/moreeni/turve |
| 9. rantavyöhykkeiden kasvittumisasteet | peittävyys -% |
| 10. sukkessioindikaattorityyppien peittävyys tulvavyöhykkeellä (ruoho, pensaat, puut, sammalet) | (%) |
| 11. turpeen muodostumisen etene- minen eulitoraalilla | turpeen paksuus ja leveys (m) |
| 12. kasvittuneen alueen leveys eu- ja sublitoraalilla | ilmaversoisten ja kelluslehtisten leveys (m) |
| 13. kortteen, ruo'on ja kaislan keskimääräinen versotiheys ja -korkeus | kpl/0,25 m ² - cm |
| 14. kasvilajien suhteellinen yleisyys | 7-asteikko ja %-asteikko |
| 15. kasvilajien peittävyys (erityislinjan aineistosta) | %-asteikko: +, 1, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 30, ..., 90, 100 (Keiteleellä 7-asteikko) |
| 16. vallitseva kasvutapa ja erot (kilpailu-/stressi-/häiriöstrategia) | |
| a) eri vuosien ja osa-alueiden välillä | strategiaindeksien vertailu |
| b) yksittäisten kasvilinjojen välillä | monimuuttuja-analyysi |
| 17. umpeenkasvun indikaattorilajien määrä | |
| a) eri vuosina ja | a) keskimääräisen yleisyyden vertailu |
| b) eri osa-alueilla | b) kasvillisuusindeksien vertailu |
| 18. säännöstelyyn reagoivien kasvilajien määrä eri osa-alueilla | a) keskimääräisen yleisyyden vertailu b) kasvillisuusindeksien vertailu |
| 19. kasvupaikan trofiataso | kasvilajiston jakautuminen eri trofialuokkiin |

Rantavyöhykkeen kasviston ja kasvillisuuden kehittyminen 1950-luvulta 1990-luvulle

4

Suoraniemi, M.¹⁾²⁾, Pogreboff, S.³⁾, Partanen, S.¹⁾ ja Hellsten, S.¹⁾

¹⁾VTT Yhdyskuntatekniikka, vesi- ja ekotekniikka

²⁾Suomen Ympäristövaikutusten Arviointikeskus Oy

³⁾Oy Keskuslaboratorio

4.1 Päijänteen vedenlaadun kehityksestä

Vedenlaadun kehitystarkastelu perustuu pääasiassa Granbergin (1998) kokooma-artikkeliin. Päijänteen vedenlaadun kehittymiseen on vaikuttanut ennenkaikkea puunjalostusteollisuuden käynnistyminen 1950-luvulla, joka näkyy erityisesti Pohjois-Päijänteen likaantumisenä jo 1950-luvun loppupuolella. Rehevoitymistä on myös edistänyt Jyväsjärveen kohdistuva Jyväskylän kaupungin jätevesikuormitus, joka johti 1960-luvulla järven miltei täydelliseen talviseen hapettomuuteen ja alusveden osalta myös avovesikaudella. Toisaalta voimakas kuormitus Päijänteen keskiosaan johtui Jämsänjokilaakson puunjalostusteollisuudesta, joka kuormitti voimakkaasti Tiirin- ja Lehtiselän aluetta. Tämäkin kuormitus oli huipussaan 1960-luvun loppupuolella.

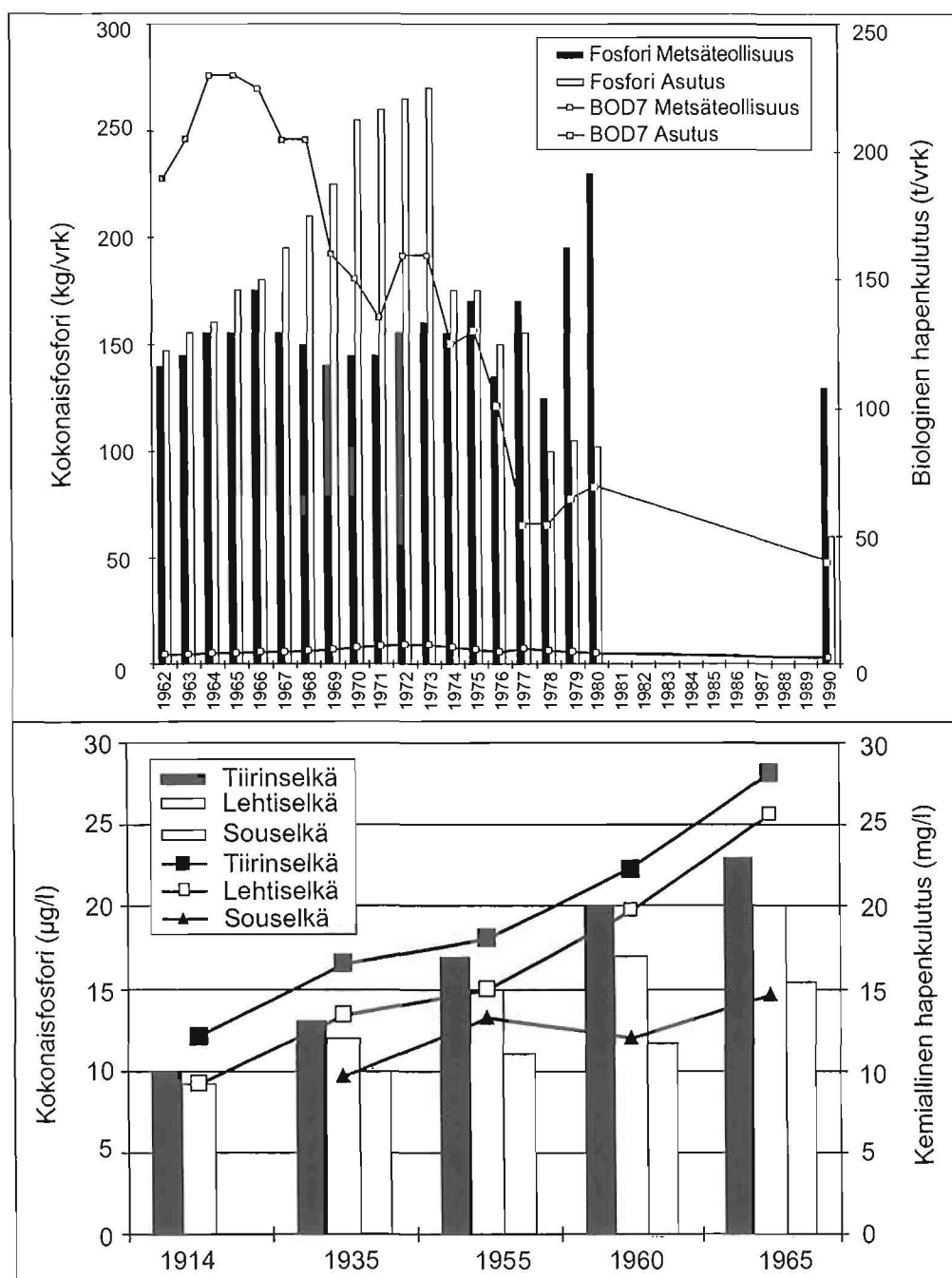
Vesistöön kohdistuvan kuormituksen väheneminen alkoi 1970-luvulla, jolloin sekä asuma- että teollisuusjätevesien puhdistus otettiin yleisesti käyttöön. Jyväsjärvi alkoi ratkaisevasti puhdistua 1980-luvun alusta lähtien ja erityisesti Äänekosken sulfiittiselluloosatehtaan käyttöönotto tehokkaine puhdistamoineen vuonna 1985 pienensi oleellisesti Pohjois-Päijänteeseen kohdistuvaa kuormitusta. Jämsänlaakson teollisuuden puhdistustuloksen paraneminen vähensi myös oleellisesti keskisen Päijänteen kuormitusta.

Päijänteen vedenlaatu on siis parantunut oleellisesti viimeisen vuosikymmenen aikana. Kuvaan 9 on koottu Päijänteen kokonaisfosfori- ja BOD7 kuormituksen kehittyminen eri vuosikymmeninä (Granberg 1998). Vastaavasti muutos on heijastunut ravinnepitoisuuksiin ja veden väriarvoihin jätevedenpuhdistuksen käyttöönoton myötä. Päijänteen rehevoityminen ei suinkaan loppunut ravinteiden vähenemisen myötä. Granbergin (1998) mukaan perustuotantona mitattu rehevoityminen on pikemminkin kasvanut viime vuosikymmenten aikana. Erityisesti Päijänteen pohjoisosa näyttää muuttuneen sisäkuormitteiseksi, joten vedenlaadun pikaista paranemista ei ole odotettavissa. Tilannetta edesauttaa erityisesti kuormituksen vähenemisen myötä tapahtuva veden värin kirkastuminen, joka on johtanut perustuotannon lisääntymiseen.

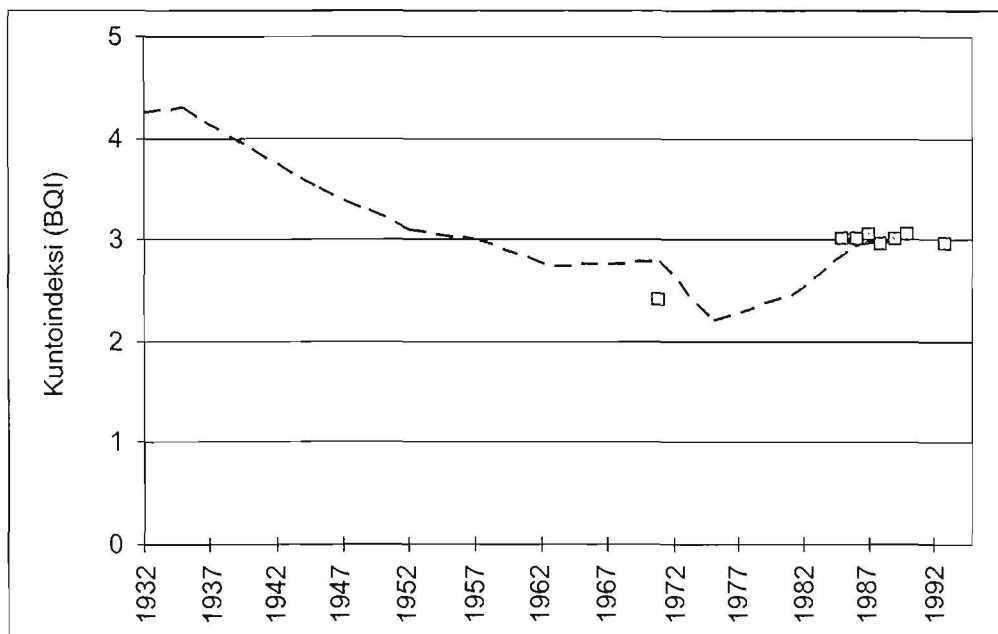
Kuormituslukuja ja vedenlaatatietoja tarkasteltaessa havaitaan, että mittaus-sarjat alkavat vasta 1960-luvun alussa yleisen vesistönseurannan kehittymisen myötä. Granberg (1997) on esittänyt mallilaskelmien perusteella, että Keski-Päijänteen vedenlaatu heikkeni Tiirin- ja Lehtiselällä jo ennen toista maailmansotaa (kuva 9). Päijänteen aikaisempaa vedenlaatua voidaan tarkastella ainoastaan historiallisten aikasarjojen perusteella; ainoastaan joitakin kasviplanktonin biomassamittauksia on tehty 1950-luvulla. Niidenkin tulkintaa hankaloittaa suurimman kuormituskauden jätevesien myrkkövaikutus ja veden tummeneminen, joka alentaa tuotantoa vaikeuttaen veden tilan historiallista arviointia. Sarvala (1996)

on koonnut useista eri lähteistä pohjaeläimistön tilatietoja. Erityisen käyttökelpoinen on BQI-indeksi, jossa syvännenäytteiden pohjaeläinbiomassa ja surviaissääskilajiston perusteella on laskettu pohjaeläimistön tila. Käyttämällä paleolimnologista aineistoa, on täten saatu hyvä kuva myös vesistön aikaisemmasta tilasta (kuva10).

Kuvan 10 perusteella voidaan havaita vesistön tilan heikentyneen jo melko varhain ja erityisesti 1970-luvun puolivälissä tila on ollut huonoimmillaan, kuten myös aikaisemmissa tutkimuksissa on todettu. Sen jälkeen veden laatu on parantunut, mutta jäänyt noin 1950-luvun tasolle, mikä viittaa edelleen suureen tuotantoon. Toki on huomioitava, että kyseessä on Päijänteen pohjoisin ja samalla rehevin osa.



Kuva 9.Yläkuva: Päijänteen kokonaisfosfori- ja BOD₇-kuormituksen kehittyminen Granbergin (1998) mukaan uudelleen piirretty. Alakuva: Keski-Päijänteen selkien vedenlaadun kehittyminen Granbergin (1997) mukaan. Pylväät kuvaavat kokonaisfosforin pitoisuuksia ja viivat kemiallista hapenkulutusta keskimääräisinä pitoisuuksina.



Kuva 10. Pohjois-Päijänteen Poronselän paleolimnologisten (viiva) ja nykyisten (piste) näytteiden perusteella laskettu pohjaeläimistön BQI (Sarvala 1996, laskettu useiden eri lähteiden perusteella). Puhtaissa vesissä arvo on 4-5, pahasti likaantuneissa 1.

4.2 Päijänteen ranta- ja vesikasviston kehittyminen

4.2.1 Muutokset vuodesta 1951-53 vuoteen 1974-75

Päijänteen rantavyöhykkeen kasviston muuttumista Häyrénin (1954) vuosien 1951-53 aineiston, Suomen (1997) vuosien 1974-75 ja tämän tutkimuksen vuoden 1996 aineiston perusteella on kuvattu liitteessä 5 koko järven alueella. Lisäksi osa-alueittain on verrattu Suomen (1997) ja tämän tutkimuksen tuloksia, koska Häyrénin (1954) aineisto oli keskittynyt liiaksi suojaisille lahtialueille.

Vuodesta 1954 lähes kaikki lajit näyttävät yleistyneen huomattavasti (liite 5). Muutos näyttää kuitenkin todellista suuremmalta, sillä Häyrénin (1954) aineistossa yleisimmät lajit lienevät aliedustettuina vuonna 1975 (Suomen 1997). Vuonna 1975 yleisimmät lajit olivat lähes samoja kuin vuonna 1954. Tosin muutamat silloin suhteellisen harvinaiset lajit kuten pikkulimaska (*Lemna minor*), sorsansammal (*Ricciocarpos natans*), lumme (*Nymphaea candida*), kiehkuraärviä (*Myriophyllum verticillatum*), isovesiherne (*Utricularia vulgaris*) ja leveäosmankäämi (*Typha latifolia*) olivat nousseet 1975 yleisimpien lajien joukkoon. Häyrén ei lainkaan tavannut seuraavia 1970-luvulla suhteellisen yleisiä lajeja: kilpukka (*Hydrocharis morsus-ranae*), ristilimaska (*Lemna trisulca*), isolimaska (*Spirodela polyrrhiza*) ja hankaliuskasammal (*Riccia fluitans*). Irtokellujat sekä juurettomat tai heikkojuuriset uposkasvit ovat yleistyneissä lajeissa vahvasti edustettuina. Useimmat muutkin hyötyvät runsasravinteisesta vedestä ja viihtyvät rehevissä pehmeäpohjaisissa lahdissa. Taantuneita (ottaen huomioon aineistojen em. eron) lienevät mm. paunikko (*Crassula aquatica*), tummalahnaruoho (*Isoetes lacustris*), ruskoärviä (*Myriophyllum alterniflorum*), järvisätkin (*Ranunculus peltatus*), rantaleinikki (*R. reptans*) ja äimäruoho (*Subularia aquatica*). Taantuneisiin kuulunevat myös vaalealahnaruoho (*Isoetes echinospora*) ja raani (*Littorella uniflora*). Muuallakin Suomessa on havaittu samansuuntaisia muutoksia vesikasvistossa rehevöityneissä ja teollisuuden likaamissa vesissä. Tummalahnaruoho (*I. lacustris*) on herkkä myös jääeroosiolle.

Suomisen (1997) mukaan Päijänteen rehevöityminen ei makrofyyttien osalta selvästi ilmene selkävesien lahdissakaan, joskin merkkejä tästä on rehevöityneimmällä Pohjois-Päijänteellä. Paikallisesti, etenkin lahtivesien perukoissa, rehevöityminen on 20 vuoden aikana (1954-74) muuttanut vesikasvistoa. Keski-Päijänteellä vesikasvisto on perusteellisesti muuttunut puunjalostusteollisuuden vaikutuksesta. Rehevöitymisen ja teollisuuspäästöjen aiheuttamat vesikasvimuutokset Päijänteellä ovat samankaltaisia kuin muissa vesissämme todetut.

4.2.2 Muutokset vuodesta 1974-75 vuoteen 1996

Suomisen vuosina 1974-75 tutkimien 45 havaintopisteen (Suominen 1997) ja vuonna 1996 tutkittujen 101 havaintopisteen lajitojen vertailu on mahdollista vain ottamalla huomioon seuraavat varaukset. Suomisen (1997) kuvaukset oli tehty usein rannalta käsin ja ne keskittyivät vain Päijänteen läntiselle puoliskolle. Lisäksi koko aineistoissa on vain n. 10 pistettä, jotka ovat osuneet osapuilleen samoille sijoille. Päijänteen itäinen puolisko on sokkeloinen, saarten erottamien selkien ja lahtien labyrintti. Kapeiden salmien ja kynnysten ansiosta Päijänteen pääsyvänteissä kulkevat vedenvirtaukset eivät juuri sinne leviä. Sen vuoksi Päijänteen itäisten selkien vesimassa kuvastaa sitäkin enemmän lähivalumaa ja paikallisten pienreittien virtaamia.

Vertailussa tulee kiinnittää erityisestä huomiota menetelmällisiin eroihin ja määrittämisvirheisiin. Suomisen (1997) tutkimus oli perinpohjainen lajistokartoitus, kun taas vuonna 1996 keskityttiin vertikaaliseen säännöstelyyn ja umpeenkasvun vaikutusten erotteluun. Lajistollisia muutoksia tarkasteltaessa kannattaa huomioida mahdolliset määrittämisvirheet, joista huomattavin lienee piurun (*Scolochloa festuacea*) jääminen tunnistamatta. Kaikki piuru-yksilöt määritettiin kesällä 1996 erehdyksessä isosorsimoiksi (*Clyceria maxima*), mutta seuraavana kesänä tarkistettiin uudestaan 17 kasvupaikkaa Päijänteellä ja voitiin näin korjata määrittämisvirhe. Neljällä koealueella kasvoi isosorsimoa ja seitsemällä piurua, joten uuden arvion perusteella isosorsimon yleisyys on vain 8 % ja piurun 14 %, joten molempien määrä on pudonnut merkittävästi. Aikaisemmat tutkimukset on tehty pääasiassa rannasta käsin ilman venettä, joka omalta osaltaan voi nostaa syvällä kasvavien lajien osuutta vuoden 1996 tuloksissa. Toisaalta myös 1996 pääpaino oli ylemmällä rantavyöhykkeellä, joten osa syvällä kasvavista on todennäköisesti jäänyt havaitsematta.

Verrattaessa aikaisempaa (vv. 1974-75) ja uudempaa (1996) kasvien levinneisyyttä toisiinsa tulee ottaa huomioon, että vuosina 1974-75 havaintopisteiden lukumäärä oli karkeasti ottaen puolet vuoden 1996 havaintopisteiden lukumäärästä. Täten voidaan katsoa, että sellaiset vuoden 1996 löytöluvut, jotka ovat vuosien 1974-75 löytölukuja pienempiä, merkitsevät lajin huomattavaa taantumista ja vuosien 1974-75 löytölukuja kaksi kertaa suuremmat luvut lajin yleistymistä (taulukko 6). Entisen levinneisyytensä säilyttäneet lajit voidaan kuvata tyypillisiksi, kasvupaikkavaatimuksiinsa nähden laaja-alaisiksi lajeiksi. Ravinteisuusvaatimuksiltaan lajisto on vaihtelevaa, mutta erityishuomio kiintyy kahteen rehevyyttä suosivaan lajiin (isosorsimo, kiehkuraärviä). Huolimatta suurlevinneisyyden säilymisestä on osa lajistosta merkittävästi harvinaistunut. Levinneisyytensä laajentaneista lajeista suuri osa on vähäravinteisissa tai keskimääräistä vähäravinteisemmissa oloissa toimeentulevia lajeja. Toisaalta taksonit joiden levinneisyysalue on supistunut kuuluvat pääasiassa ravinteisuuden suhteen vaativiin lajeihin. Useimmat näistä lajeista ovat myös merkittävästi harvinaistuneet. Hävinnyt lajisto koostuu usein lajeista, jotka ovat havaittavuudeltaan ja tunnistettavuudeltaan vaikeita lajeja, lajiristeytymiä tai taksoneja, jotka ovat usein olleet alunperinkin harvinaisia. Silti joukkoon mahtuu myös "helppoja" tunnistettavia ja runsaslukuisesti esiintyviä lajeja, joiden laajamittainen häviäminen heijastaa muuttuneita ympäristöoloja

Taulukko 6. Päijänteen ranta- ja vesikasvistossa tapahtuneet muutokset vuosista 1974-75 (Suominen 1997) vuoteen 1996. Taulukko perustuu liitteeseen 5.

| | Muutokset levinneisyydessä | | | | Muutokset yleisyydessä | | | |
|------------------------------------|----------------------------|-------------|------------|----------|------------------------|----------------|------------|-------------|
| | Ennallaan | Laajentunut | Supistunut | Hävinnyt | Uusi | Harvinaistunut | Yleistynyt | Ei muutosta |
| <i>Alisma plantago-aquatica</i> | x | | | | | | | x |
| <i>Callitriche palustris</i> | x | | | | | x | | |
| <i>Carex</i> spp. | x | | | | | | x | |
| <i>Cicuta virosa</i> | x | | | | | | | x |
| <i>Eleocharis palustris</i> | x | | | | | x | | |
| <i>Equisetum fluviatile</i> | x | | | | | | | x |
| <i>Glyceria fluitans</i> | x | | | | | x | | |
| <i>Glyceria maxima</i> | x | | | | | x | | |
| <i>Lemna minor</i> | x | | | | | x | | |
| <i>Lythrum salicaria</i> | x | | | | | | x | |
| <i>Myosotis</i> spp. | x | | | | | | x | |
| <i>Myriophyllum verticillatum</i> | x | | | | | x | | |
| <i>Nuphar lutea</i> | x | | | | | | | x |
| <i>Nymphaea candida</i> | x | | | | | x | | |
| <i>Phalaris arundinacea</i> | x | | | | | | x | |
| <i>Phragmites australis</i> | x | | | | | | | x |
| <i>Polygonum amphibium</i> | x | | | | | | | x |
| <i>Potamogeton natans</i> | x | | | | | x | | |
| <i>Potamogeton perfoliatus</i> | x | | | | | | | x |
| <i>Schoenoplectus lacustris</i> | x | | | | | | | x |
| <i>Utricularia</i> spp. | x | | | | | x | | |
| <i>Calla palustris</i> | | x | | | | x | | |
| <i>Ceratophyllum demersum</i> | | x | | | | x | | |
| <i>Elatine hydropiper</i> | | x | | | | x | | |
| <i>Eleocharis acicularis</i> | | x | | | | | | x |
| <i>Elodea canadensis</i> | | x | | | | x | | |
| <i>Iris pseudacorus</i> | | x | | | | | | x |
| <i>Isoetes echinospora</i> | | x | | | | | x | |
| <i>Isoetes lacustris</i> | | x | | | | | x | |
| <i>Littorella uniflora</i> | | x | | | | | x | |
| <i>Lobelia dortmanna</i> | | x | | | | | x | |
| <i>Lysimachia thyrsiflora</i> | | x | | | | | x | |
| <i>Myriophyllum alterniflorum</i> | | x | | | | | x | |
| <i>Potamogeton gramineus</i> | | x | | | | x | | |
| <i>Ranunculus peltatus</i> | | x | | | | | | x |
| <i>Ranunculus reptans</i> | | x | | | | x | | |
| <i>Sagittaria sagittifolia</i> | | x | | | | x | | |
| <i>Sparganium gramineum</i> | | x | | | | x | | |
| <i>Stachys palustris</i> | | x | | | | | x | |
| <i>Subularia aquatica</i> | | x | | | | | | x |
| <i>Alopecurus aequalis</i> | | | x | | | x | | |
| <i>Elatine triandra</i> | | | x | | | x | | |
| <i>Hydrocharis morsus-ranae</i> | | | x | | | x | | |
| <i>Potamogeton alpinus</i> | | | x | | | x | | |
| <i>Ricciocarpos natans</i> | | | x | | | x | | |
| <i>Sparganium emersum</i> | | | x | | | x | | |
| <i>Sparganium erectum</i> | | | x | | | x | | |
| <i>Typha angustifolia</i> | | | x | | | x | | |
| <i>Typha latifolia</i> | | | x | | | x | | |
| <i>Scolochloa festucacea</i> | | | x* | | | | | |
| <i>Butomus umbellatus</i> | | | | x | | | | |
| <i>Crassula aquatica</i> | | | | x | | | | |
| <i>Hippuris vulgaris</i> | | | | x | | | | |
| <i>Lemna trisulca</i> | | | | x | | | | |
| <i>Limnosa aquatica</i> | | | | x | | | | |
| <i>Polygonum foliosum</i> | | | | x | | | | |
| <i>Potamogeton berchtoldii</i> | | | | x | | | | |
| <i>Potamogeton gram. x perf.</i> | | | | x | | | | |
| <i>Potamogeton obtusifolius</i> | | | | x | | | | |
| <i>Potamogeton pusillus</i> | | | | x | | | | |
| <i>Ranunculus lingua</i> | | | | x | | | | |
| <i>Riccia fluitans</i> | | | | x | | | | |
| <i>Sagittaria nat. x sagittif.</i> | | | | x | | | | |
| <i>Spirodela polyrhiza</i> | | | | x | | | | |
| <i>Typha angustif. x latif.</i> | | | | x | | | | |
| <i>Caltha palustris</i> | | | | | x | | | |
| <i>Chara fragilis</i> | | | | | x | | | |
| <i>Galium palustre</i> | | | | | x | | | |
| <i>Lysimachia vulgaris</i> | | | | | x | | | |
| <i>Nitella</i> spp. | | | | | x | | | |
| <i>Polygonum hydropiper</i> | | | | | x | | | |
| <i>Potamogeton praelongus</i> | | | | | x | | | |
| <i>Potentilla palustris</i> | | | | | x | | | |
| <i>Sagittaria natans</i> | | | | | x | | | |
| <i>Sparganium angustifolium</i> | | | | | x | | | |

(esim. sarjarimpi, pikkuvita). Lajiluettelossa kiinnittyy huomio siihen, että se koostuu lähes yksinomaan ravinteisuuden suhteen vaateliaista lajeista. Myös alueelle ilmestyneiden uusien lajien suhteen on otettava huomioon samanlaisia varauksia kuin edellisessä ryhmässä. Valtaosaltaan kyseessä ovat tutkimusaineiston hankintaan ja määrittelyyn liittyvät tekijät. Todettakoon kuitenkin kahden todellisen vesikasvin, pitkälehtividan ja kellukeiholehden löydöt.

Lajien yleisyydessä eri osa-alueilla tapahtuneita muutoksia tarkastellaan vielä erikseen seuraavissa kappaleissa (taulukko 6). Merkittävää on, että harvinaistuneita lajeja on hävinneiden ja levinneisyysalueitaan supistaneiden lajien lisäksi myös entisen levinneisyytensä säilyttäneiden ja jopa levinneisyysalueitaan laajentaneiden lajien joukossa. Yleisvaikutelmaksi jää, että oligotrofisten kasvupaikkojen lajeja on harvinaistuneiden lajien joukossa vähän ja että harvinaistuneet lajit ovat nimenomaan runsasravinteisuutta suosivia. Tätä mielikuvaa vahvistaa myös hävinneiden lajien luettelo. Lisäksi näyttää siltä, että harvinaistuminen tapahtuisi koko Päijänteen alueella samanaikaisena eikä virtauksen suuntaisena vähittäisenä muutoksena.

Yleistyneet lajit ovat valtaosaltaan puhtaiden vesien lajeja ja rehevöitymistä huonosti sietäviä. Lahnaruohojen kohdalla voidaan puhua merkittävästä yleistymisestä ja levinneisyyden laajennuksesta. Ruskoärviän, raanin ja nuottaruohon voidaan todeta leviävän Päijänteen eteläisestä päästä kohti pohjoista. Rantaviivan osoittajalajien ja -ryhmien (sarat, ruokohelpi, alpit, rantakukat ym.) yleistyminen viittaa myös supralitoraalissa tapahtuneisiin muutoksiin, mutta näitä lajeja koskeviin havaintoihin ovat saattaneet vaikuttaa myös muut tulkintaa haittaavat tekijät. Loppujoukko onkin entisen yleisyytensä säilyttäneitä lajeja, johon kuuluu enimmäkseen keskirehevien vesien lajistoa järvisätkimen, hapsiluikan ja äimäruohon edustaessa vähäravinteisuutta kestäviä lajeja.

Lajiston levinneisyydessä tapahtuneita koko Päijänteen kattavia muutoksia voidaan yleisellä tasolla luonnehtia ravinteisuudesta hyötyvien lajien levinneisyysalueiden supistumiseksi ja ravinteisuudesta kärsivien lajien levinneisyyden laajenemiseksi. Vaikka osa-alueiden tasolla tarkastellen voidaankin tarjoilla näin yksinkertaistettua "mustavalkoista" kuvaa vastavirtaan etenevistä ja perääntyvistä lajeista, yleisyyden muutosten tarkastelu osoittaa, että kasviston muutosprosessi on Päijänteellä vielä kesken ja että se todennäköisesti tapahtuu koko altaassa yhtäaikaan. Tässä esitetyn havaintoaineiston perusteella Päijänteen kasvisto on köyhtymässä ja sen koostumus on muuttumassa siten, että oligotrofisissa oloissa kilpailukykyiset lajit ja lajiyhteisöt ovat yleistymässä.

4.3 Päijänteen eräiden kasvillisuusalueiden muutokset vuodesta 1951-53 vuoteen 1996

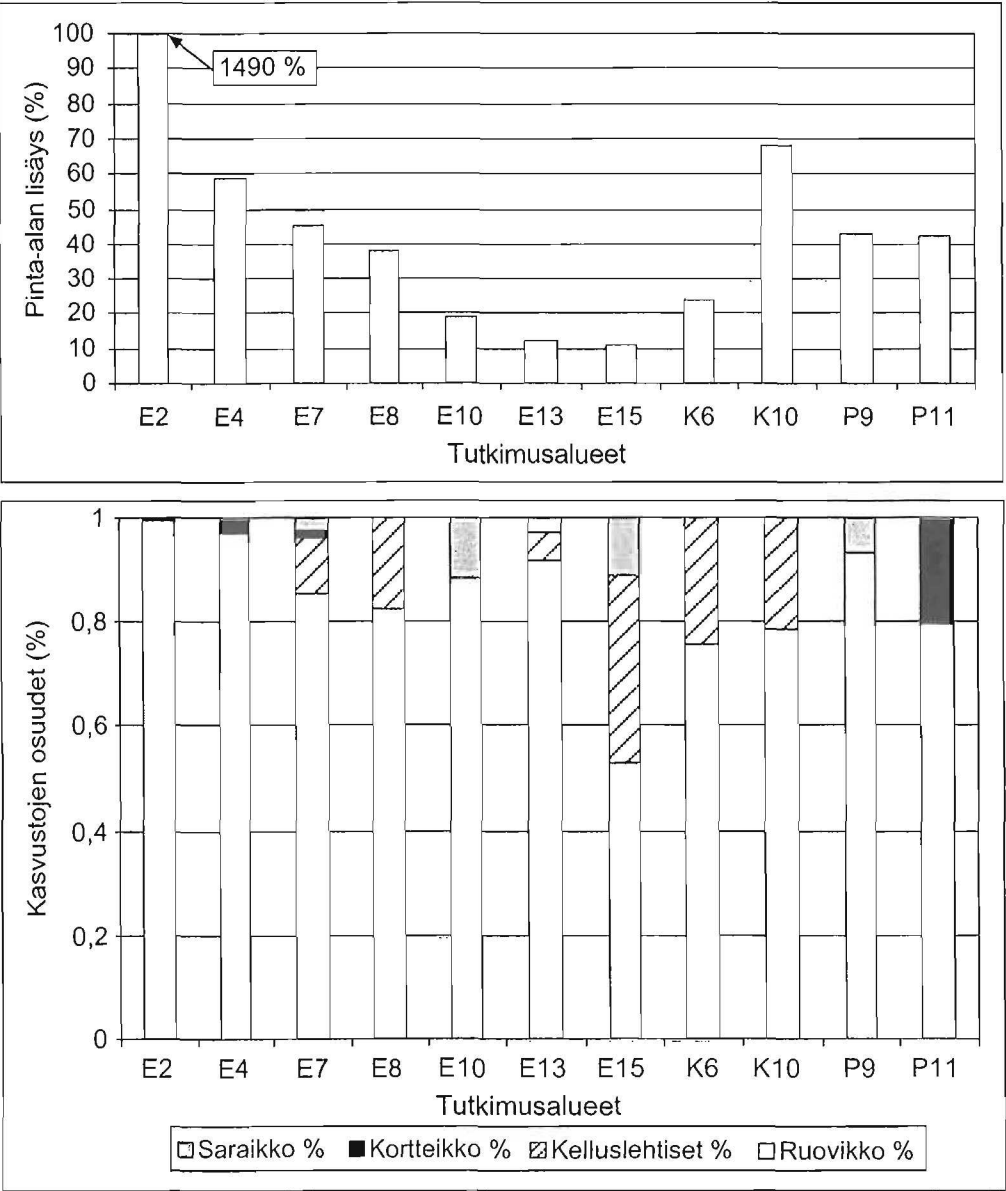
Ilmakuvien vertailu vuosien 1951-53 ja vuoden 1996 välillä toi esiin melko selvän tuloksen. Valitut kohteet olivat ympäristöltään erilaisia vaihdellen suojaisista avoimiin rantoihin. Muutos oli kuitenkin kaikilla kohteilla suhteellisen selvä vaihdellen vähäisestä kymmenen prosentin lisäyksestä jopa kasvillisuuden pinta-alan viisitoistakertaistumiseen (kuva 11). Etelä-Päijänteellä lisäys on ollut keskimäärin 55 %, Keski-Päijänteellä 42 % ja Pohjois-Päijänteellä 42 %. Tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava, että Etelä-Päijänteellä tarkasteltiin 7 koealuetta ja muilla osa-alueilla vain kaksi kummallakin. Keskimäärin kasvipeitteen pinta-ala on lisääntynyt 49 % - mikäli poikkeuksellisen voimakkaan lisäyksen omaava alue E2 jätetään pois saadaan lisäykseksi 35 %.

Eri lajiston erottaminen vanhoista ilmakuvista on miltei mahdotonta, mutta pääkasvustojen jakauma kesällä 1996 todistaa muutoksen johtuneen pääosin ruovikon rajusta lisääntymisestä (kuva 11). Ainoastaan koealueella E15 kasvipeitteestä yli neljäsosa koostuu muista kuin ruo'oista.

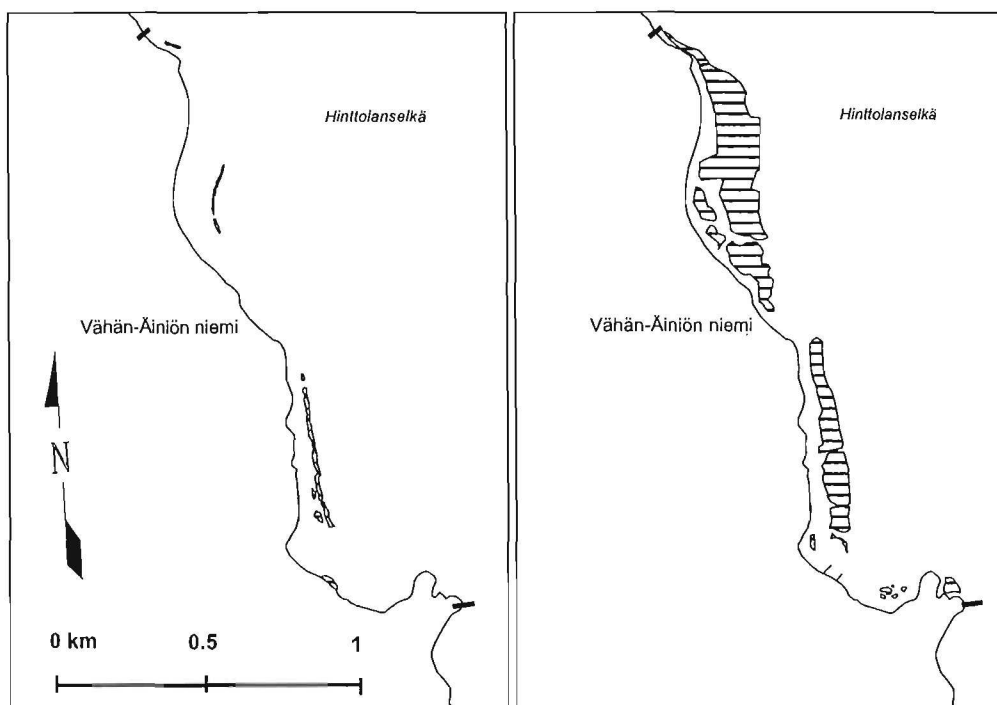
Esimerkkinä erityisen suuresta muutoksesta on kuvassa 12 oleva kohdealue E2, joka sijaitsee lähellä Pulkkilanharjun lounaispäättä Vähä-Äiniön niemen itärannalla. Ruovikon laajeneminen on ollut hyvin voimakasta eikä sitä voi missään tapauksessa selittää pelkästään rehevyyden muutoksilla. Myös varhaisemmassa kuvassa on havaittavissa alku ruovikoille, mutta ruovikko on laajentunut sekä leveys että pituussuunnassa huomattavasti.

4.4 Keiteleen ranta- ja vesikasviston kehittyminen

Sirkan (1949) mukaan Keski-Keitele oli 1930-luvulla pääasiassa hyvin karu lukuunottamatta joitakin suojaisia, pehmytpohjaisia lahtia (esimerkiksi Kajamanlahti). Ylä-Keitele ja Ala-Keitele olivat taas rehevämpiä ja tummavetisempiä. Yleisimmät ilmaversoiset kasvit tuolloin olivat rantakukka (*Lythrum salicaria*), ratamosarpio (*Alisma plantago-aquatica*), pystykeiholehti (*Sagittaria sagittifolia*), rantapalpakko



Kuva 11. Rantavyöhykkeen kasvillisuuden pinta-alan muutos vuodesta 1951 vuoteen 1996 (yläkuva) ja eri kasvillisuusvyöhykkeiden prosentuaaliset osuudet vuonna 1996 (alakuva) eräillä Päijänteen osa-alueilla. E = Etelä-, K = Keski- ja P = Pohjois-Päijänne.



Kuva 12. Kasvillisuuden (vaakaviivoitus) pinta-alan muutos vuodesta 1951 vuoteen 1996 Pulkki-lanharjun läheisyydessä sijaitsevalla osa-alueella E2. Kasvillisuus on pääosin järviruokoa. Tutkittu rantaviiva rajattu vaakaviivoilla.

(*Sparganium emersum*) sekä lahdissa ja rehevämmissä paikoissa mm. Keski-Keiteleellä lähinnä Kajamanlahdessa vehka (*Calla palustris*), raate (*Menyanthes trifoliata*), kurjenmiekka (*Iris pseudacorus*) ja jokileinikki (*Ranunculus lingua*).

Yleisimmät kelluslehtiset ruokokasvivvyöhykkeen sisäpuolella olivat lumme (*Nuphar lutea*), uistinviita (*Potamogeton natans*), vesitatar (*Polygonum amphibium*), ulkopuolella lisäksi ulpukka (*Nymphaea candida*), siimapalpakko (*Sparganium gramineum*) ja järvisätkin (*Ranunculus peltatus*).

Yleisimmät uposlehtiset olivat ahvenviita (*Potamogeton perfoliatus*) ja ruskoärviä (*Myriophyllum alterniflorum*). Yleisimmät pohjalehtiset olivat ruokokasvivvyöhykkeen sisäpuolella nuottaruoho (*Lobelia dortmanna*) ja rantaleinikki (*Ranunculus reptans*), ulkopuolella tummalahnaruoho (*Isoetes lacustris*).

Eloranta (1966) kuvaa Keski-Keiteleen kasvillisuutta tyypillisen oligotrofiseksi selkävesien kasvillisuudeksi, jota kuvastavat harvat kasvustot ja vähäinen vaateli-aiden lajien osuus. Lajihavainnot olivat pääosin samanlaisia kuin Sirkalla (1949) 1930-luvulla, joten Keski-Keiteleen kasvillisuus ei ollut oleellisesti muuttunut kolmessakymmenessä vuodessa.

Kesän 1997 kartoituksen perusteella Keski-Keiteleen kasvillisuutta voi edelleen luonnehtia karuksi. Muutamat tavatut rehevät lahdet (Kajamanlahden ohella) sijaitsivat Keski-Keiteleen pohjoisosissa, lieneekö nuhraantumisen levinnyt alas-päin Ylä-Keiteleeltä, jonka jo Sirkka (1949) mainitsi Keski-Keitelettä rehevämmäksi.

Yleisimmiksi luokitelluissa lajeissa on tapahtunut jonkin verran muutoksia, tosin ne voivat johtua erilaisesta tutkimustavasta, koska tämä tutkimus keskittyi suojaisiin lahtiin, kun taas Sirkka (1949) ja Eloranta (1966) kävivät pääasiassa selkä-vesien rannoilla. Tässä tutkimuksessa yleisimpien ilmaversoiskasvien joukkoon nousivat lisäksi viiltosara (*Carex acuta*), järvikorte (*Equisetum fluviatile*) ja järviruoko (*Phragmites australis*). Rantapalpakko (*Sparganium emersum*) ei ollut enää kovin yleinen. Kelluslehtisessä- ja uposlehtisessä kasvillisuudessa ei sen sijaan ollut tapahtunut muutoksia lajien yleisyydessä. Pohjaruohojen osalta mukaan olivat tulleet aiempaa suuremmassa määrin hapsiluikka (*Eleocharis acicularis*), vaalea lahnaruoho (*Isoetes echinospora*) ja äimäruoho (*Subularia aquatica*).

Vedenkorkeuden vaihtelu; vertailu luonnontilaisen ja säännöstellyn Päijänteen sekä Keski-Keiteleen välillä

5

Hellsten, S.¹⁾, Rotko, P.²⁾ ja Marttunen, M.²⁾

¹⁾VTT Yhdyskuntateknikka, vesi- ja ekotekniikka

²⁾ Suomen ympäristökeskus

5.1 Vedenkorkeuden vaihtelu

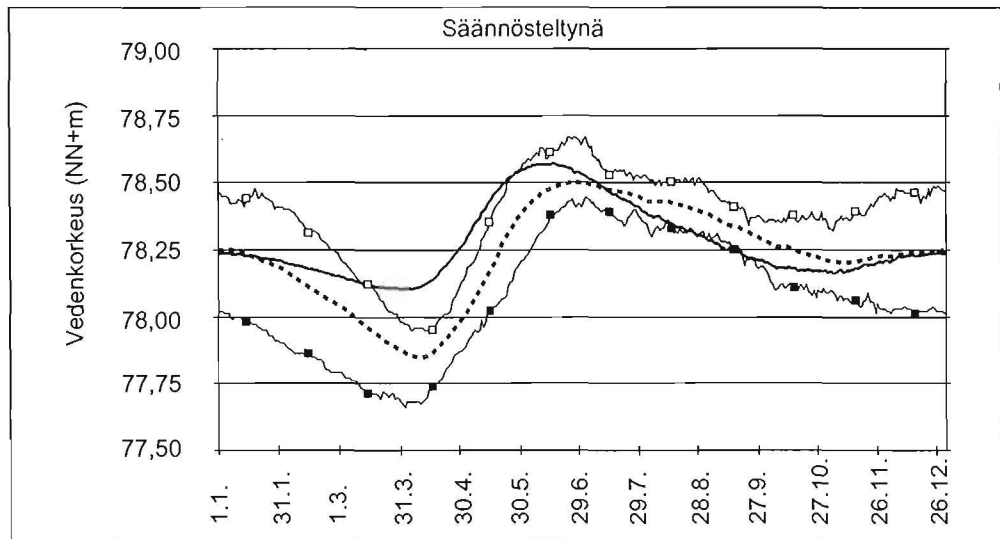
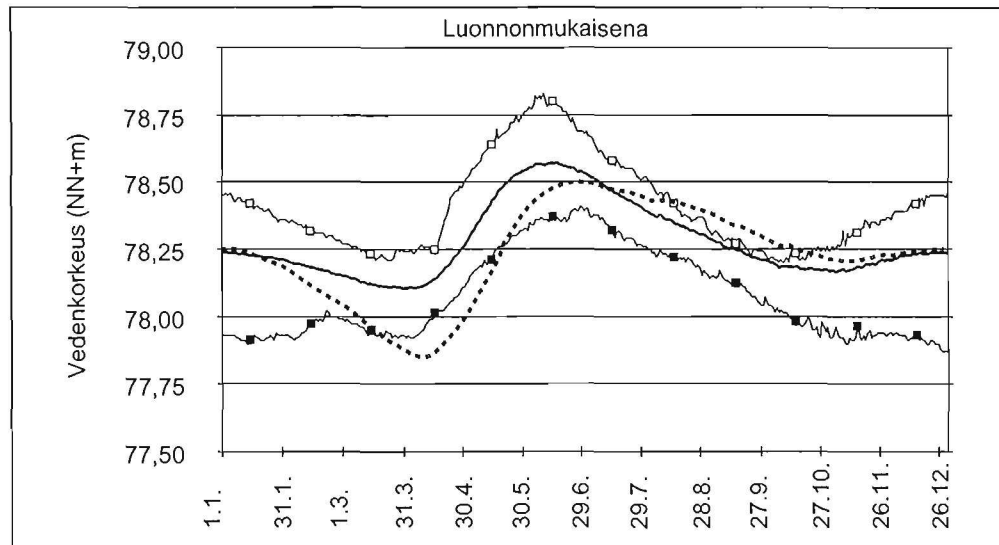
Päijänne oli aiemmin kuulu harvoin tapahtuvista, mutta varsin haitallisista tulvistaan. Päijännettä alettiin säännöstellä vuonna 1964 tavoitteena erityisesti tulvien torjuminen ja vesivoiman tuottaminen. Säännöstely on laskenut erityisesti loppu-talven vedenkorkeutta (kuva 13). Luonnontilassa tulva saavutti huippunsa jo kesäkuun puolivälissä kun taas säännösteltynä selvästi matalampi tulvahuippu saavutetaan vasta pari viikkoa myöhemmin. Loppukesällä vedenpinta laski kuitenkin selvästi alhaisemmaksi luonnontilassa.

Keski-Keiteleen vedenkorkeuden vaihtelu on hyvin samankaltainen luonnonmukaisen Päijänteen kanssa (kuva 14). Avovesikauden aikainen vedenkorkeuden lasku oli kuitenkin hieman vähäisempää. Tutkimusvuonna 1996 Päijänteen vedenkorkeus vaihteli normaalista poiketen. Vähävetisyydestä johtuen talvella vedenpinta laski poikkeuksellisen alas, eikä vähäsateinen kevät parantanut tilannetta. Kesäkuussa alkaneet sateet käänsivät vedenpinnan nopeaan nousuun, jolloin heinäkuun lopussa vedenpinta saavutti tason NN+ 78,60 m. Elokuun alussa alkoi pitkä hellejakso, joka käänsi vedenpinnan taas jyrkkään laskuun. Tutkimusvuonna 1997 lumien sulaminen alkoi jo tammi-helmikuussa, mutta vähäsateisesta keväästä ja kuivasta kesästä johtuen vedenpinta oli normaalia alhaisempi miltei koko avovesikauden ajan. Keiteleellä, jonne maastotyöt vuonna 1997 keskittyivät, oli talvinen vedenkorkeus suhteellisen normaali, mutta kuivasta kesästä johtuen vedenpinnan aleneminen oli nopeampaa.

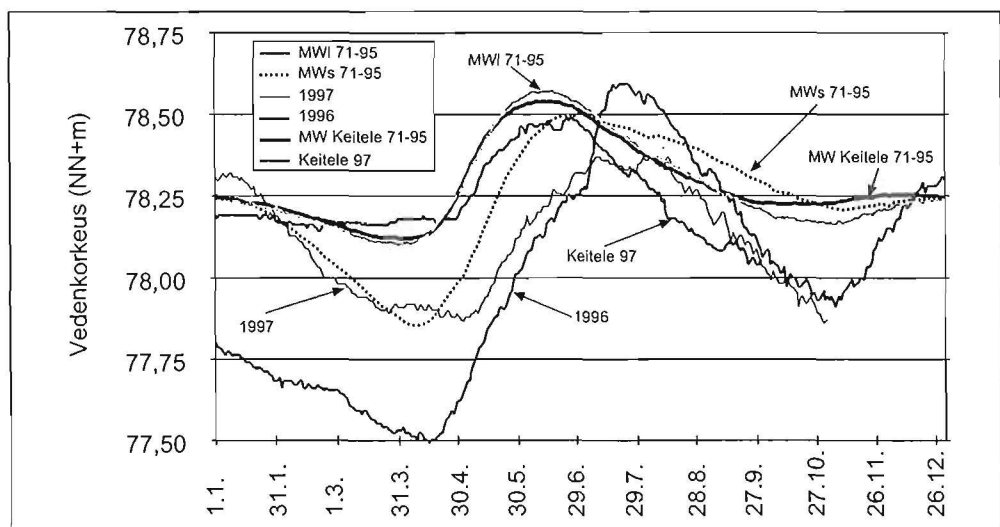
5.2 Vedenkorkeuden pysyvyys

Vedenkorkeuden avovesikauden aikaisia pysyvyyksiä on vertailtu kuvassa 15. Luonnontilassa sekä korkeat että matalat vedenkorkeudet ovat olleet selvästi yleisempiä kuin säännösteltynä ajanjaksona. Keiteleellä tulvahuippu on ollut selvästi matalampi eikä vedenkorkeus ole laskenut niin alas kuin Päijänteellä. Keitele muistuttaa pysyvyyden suhteen jopa jossain määrin enemmän säännösteltyä kuin luonnontilaista Päijännettä.

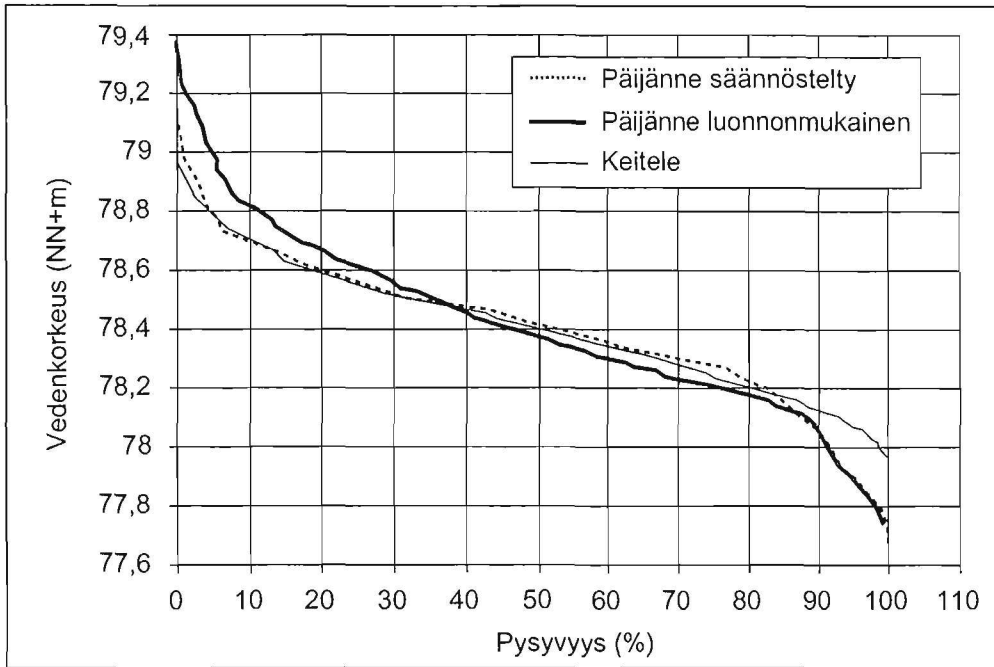
Vedenkorkeuden vaihteluvyöhykkeiden ulottuvuus tutkimusjärvillä on esitetty kuvassa 16. Keiteleellä vyöhykkeet ovat kautta linjan kapeampia kuin Päijänteellä, mikä johtuu vedenkorkeuden kapeammasta vaihteluvälistä. Erityisen laajoja ovat olleet ylimmät vyöhykkeet luonnonmukaisessa Päijänteessä, jossa harvoin toistuva tulva on ollut melko merkittävä.



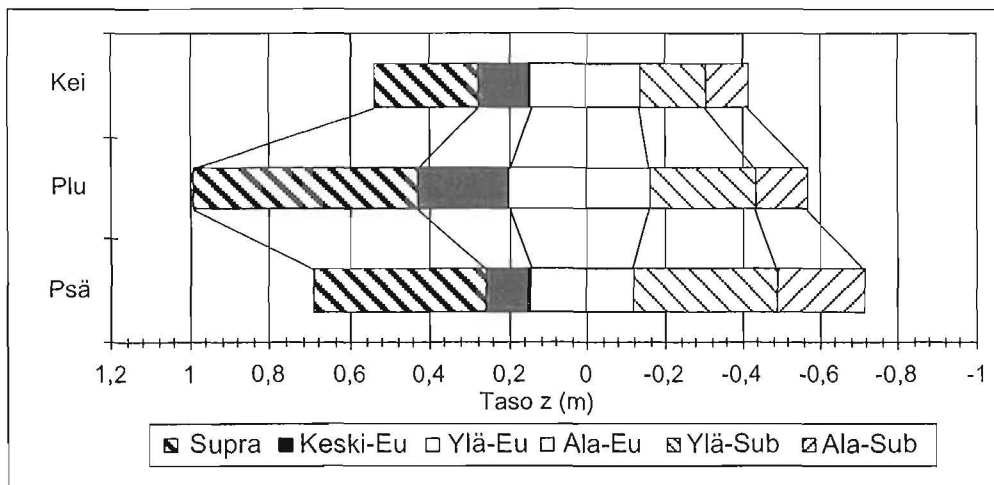
Kuva 13. Päijänteen luonnonmukainen (yhtenäinen viiva) ja säännöstelty (katkoviiva) vedenkorkeusjaksolla 1971-1995. Ylemmässä kuvassa luonnonmukaiset ylä- ja alakvartiilit, alemmassa kuvassa säännöstellyt ylä- ja alakvartiilit. Yläkvartiili (75%) merkitty avoimella ja alakvartiili (25 %) täyteisellä neliöllä.



Kuva 14. Keiteleen sekä Päijänteen vedenkorkeudet säännösteltynä ja luonnonmukaisena jaksolla 1971-1995. Tutkimusvuosien 1996 ja 1997 vedenkorkeudet merkittynä ohuella viivalla. Keiteleen vedenkorkeus on asetettu vuoden alussa Päijänteen kanssa vertailtavaan arvoon vähentämällä 21.05 metriä.



Kuva 15. Keiteleen sekä Päijänteen vedenkorkeuden avovesikauden aikainen pysyvyys säännösteltynä ja luonnonmukaisena jaksolla 1971-1995. Keiteleen vedenkorkeus on asetettu Päijänteen kanssa vertailtavaan arvoon vähentämällä 21,05 metriä.

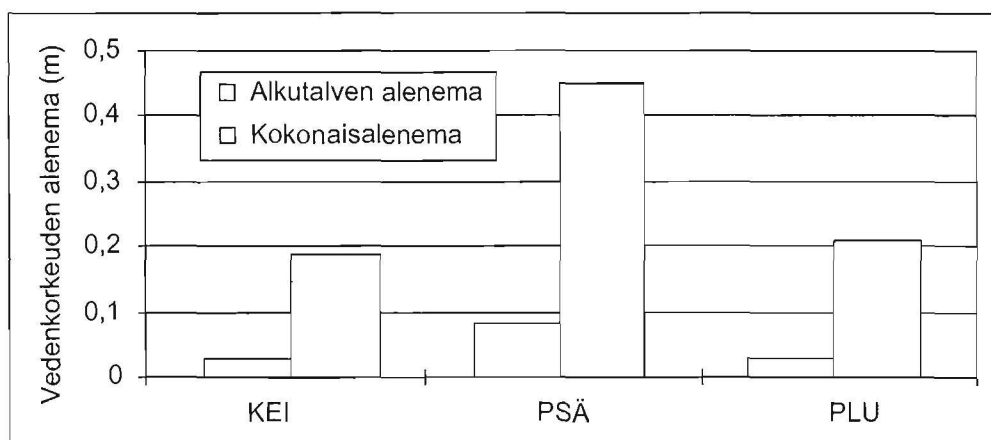


Kuva 16. Keiteleen sekä Päijänteen vedenkorkeuden vaihteluvyöhykkeiden ulottuvuus jaksolla 1971-1995. Kei = Keitele, Plu = Päijänne luonnonmukaisena, Psä = Päijänne säännöstelty, O - tasona (z) on avovesikauden mediaani tarkastelujaksolla. Positiiviset arvot kuvaavat mediaanin yläpuolisia arvoja ja negatiiviset alapuolisia arvoja (syvemmällä).

5.3 Eri vuodenaikojen erityistarkastelu

5.3.1 Talvi

Talvikauden vedenkorkeuden muutoksia on kuvattu kahden eri muuttujan avulla (Marttunen ym. 1997). Alkutalven alenemalla kuvataan vedenkorkeuden muutosta keskimääräisestä jäätymispäivästä (Keitele 14.11, Päijänne 10.12) helmikuun kuudenteen päivään asti (kuva 17). Hellstenin (1997) tutkimusten mukaan ko. ajanjaksoon asti pohjaan koskettava jää jäädyttää pohjasedimentin pintaosan. Kokonaisalenema kuvaa vedenkorkeuden laskua jäätymispäivästä kevätminimiin (ei kuitenkaan myöhemmin kuin 30.4). Alkutalvella vedenkorkeuden lasku on keskimäärin vain kolmisen senttiä Keiteleessä ja luonnonmukaisessa Päijänteessä, sään-



Kuva 17. Keskimääräinen vuosien 1971-95 vedenkorkeuden alkutilven alenema ja talvikauden kokonaisalenema tutkimusjärvillä. PSÄ = Päijänne säännösteltynä, PLU = Päijänne luonnonmukaisena, KEI = Keitele.

nösteltynäkin lasku on Päijänteessä vain 8 senttiä. Suurin ero muodostuu loppukevään vedenkorkeuden laskun myötä, joka on säännösteltynä 45 senttiä ja luonnonmukaisena sekä Keiteleessä noin parikymmentä senttiä. Vedenpinnan alenema talven aikana on Päijänteessä melko pieni verrattuna useimpiin muihin suomalaisiin järviin. Talvisen jäätymisen vaikutuksia rantavyöhykkeelle on myös arvioitu kappaleessa 5.4.

5.3.2 Kevät

Päijänteen keväisten vedenkorkeuksien muuttuminen on eräs merkityksellisimmistä säännöstelyn vaikutuksista. Keväälle onkin tyypillistä tulvahuipun madaltuminen ja ennenkaikkea pitkittyminen (kuva 13). Ilmiötä on havainnollistettu usealla eri muuttujalla, jotka on koottu taulukkoon 7. Tulvan voimakkuutta on havainnollistettu muuttujalla (A), jossa lasketaan keskimääräinen ero jäänlähtöpäivänä vedenkorkeuden ja sen jälkeisen ennen kesäkuun loppua toteutuvan maksimivedenkorkeuden välinä. Tulvan nousu on säännöstellyssä tilanteessa ollut selvästi suurin, vaikka maksimikorkeus jääkin selvästi alhaisemmalle tasolle kuin luonnonmukainen. Samaisen jakson keskimääräinen tulvan pituus vuorokausina (B) on myös selvästi suuri säännösteltynä.

Verrattaessa eulitoraalin keskiosan (C) eli avovesikauden 25 % pysyvyystason veden alla oloaika 10.5.-10.6. voidaan myös havaita erittäin selvä ero. Keiteleessä ja vedenkorkeuksiltaan luonnonmukaisessa Päijänteessä taso on veden alla jopa

Taulukko 7. Kevättulvaa havainnollistavia muuttujia. A) Tulvan suuruus: maksimi (JLP -30.6.) - JLP (m), B) Päivien lkm: JLP - tulvahuippu (kpl), C) Montako päivää vuodessa eulitoraalin keskiosaa ollut veden alla 10.5.-10.6. eli vedenkorkeus > (Keitele NN+ 99,56 m, säännöstelty Päijänne NN+ 78,52 m, luonnonmukainen Päijänne NN+ 78,61 m) (kpl), D) Erotus JLP ka - keskim. avovesik. mediaani, E) Luonnonmukaisen vedenkorkeuden tulvahuippupäivää ajanjaksolla JLP - 30.6 vastaavan säännöstellyn vedenkorkeuden ja keskimääräisen avovesikauden mediaanin erotus (JLP = jäänlähtöpäivä).

| Muuttuja | Keitele | Päijänne säännöstelty | Päijänne luonnonmukainen |
|----------|---------|-----------------------|--------------------------|
| A) | 0,16 | 0,49 | 0,3 |
| B) | 25,7 | 45,6 | 36,2 |
| C) | 16 | 7 | 12 |
| D) | 0,09 | -0,30 | 0,04 |
| E) | - | 0,11 | 0,26 |

kaksinkertaisen ajan verrattuna säännösteltyyn Päijänteeseen. Tämä muuttuja kuvaa, kuinka pitkään tulva huuhtoo rantavyöhykettä eli huuhtoutuminen on selvästi tehokkaampaa luonnontilaisissa oloissa.

Samaa ilmiötä kuvaa myös jäänlähtöpäivän ja avovesikauden mediaanin välinen ero (D); säännöstellyssä tilanteessa vedenpinta on merkittävästi alempana kuin Keiteleessä ja luonnonmukaisessa Päijänteessä.

Tulvan ajoittumista ja suuruutta kuvaa myös jäänlähtöpäivän ja kesäkuun lopun väliseen ajanjaksoon sijoittuva luonnonmukaisen tulvahuipun esiintymispäivänä mitattu vedenkorkeus, jonka ero säännöstelystä avovesikauden mediaanista (E) kuvaa hyvin tulvan vähenemistä. Luonnonmukaisena vedenkorkeus on ollut miltei kaksi kertaa korkeammalla kuin säännösteltynä.

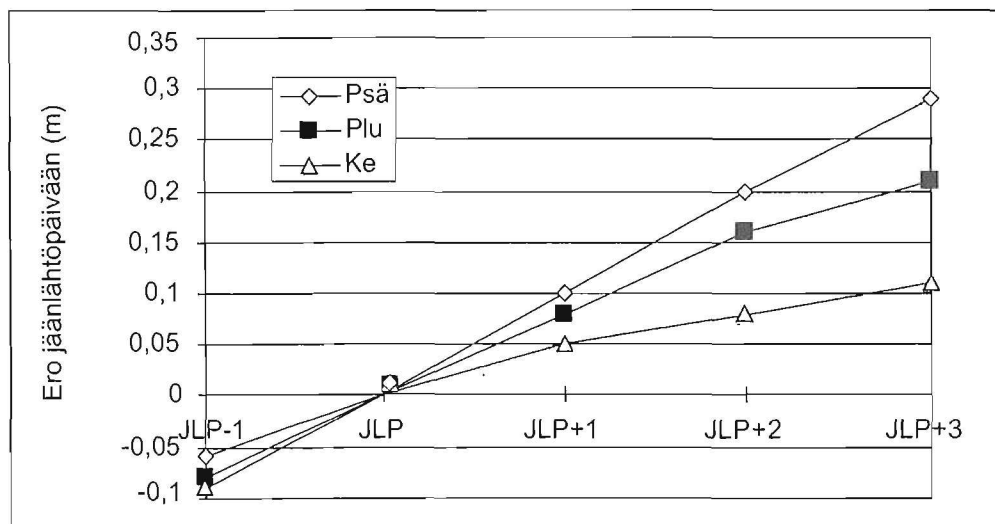
Tulvan nousunopeutta hahmotellaan myös kuvassa 18, johon on koottu vedenpinnan ero viikko ennen jäänlähtöpäivää (JLP-1) ja yksi (JLP+1), kaksi (JLP+2) ja kolme (JLP+3) viikkoa jäänlähtöpäivän jälkeen. Nousunopeus on selvästi suurin säännöstellyssä Päijänteessä, mutta ero on ollut merkittävä myös luonnonmukaisen Päijänteen ja Keiteleen välillä.

5.3.3 Avovesikausi

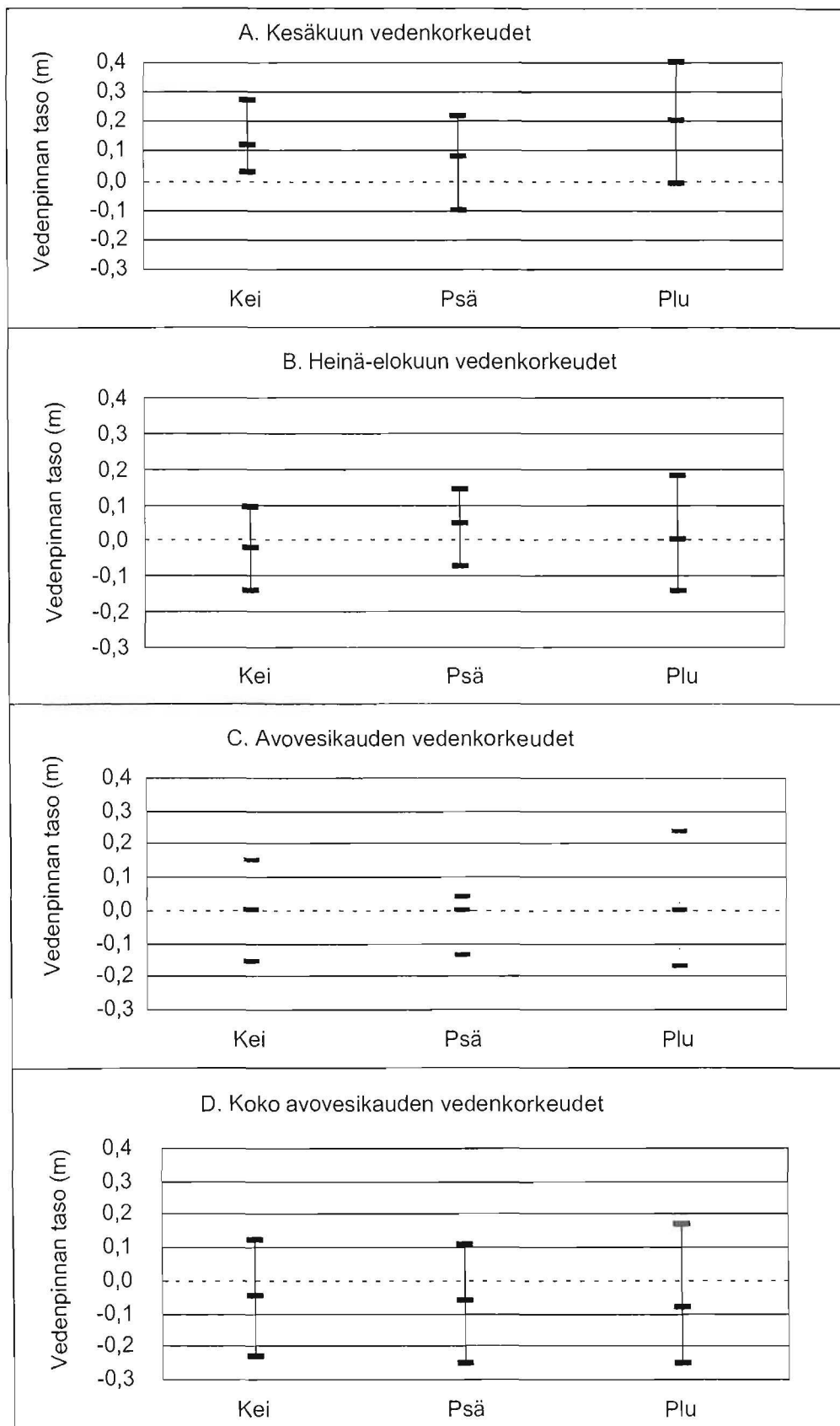
Avovesikauden aikaisia vedenkorkeuksia verrattiin laskemalla eri ajanjaksoille kulloinkin mediaani ja ylä- sekä alaverhokäyrän tasot (kuva 19a-d). Nollapisteenä käytettiin laskennallisen avovesikauden vedenkorkeuden mediaania (z), joka laskettiin Keiteleelle ja säännöstellylle sekä luonnontilaiselle Päijänteelle erikseen.

Kesäkuussa vedenkorkeuden vaihtelu on ollut jo luonnontilaisessa Päijänteessä Keitelettä voimakkaampaa (kuva 19a). Vedenkorkeuden mediaani on selvästi korkeammalla verrattuna avovesikauden tasoon. Rantavyöhykkeen eliöstön kannalta luonnonmukainen Päijänne on ainakin säännösteltä parempi, koska korkea vedenkorkeus tarjoaa paremmat elinolosuhteet esim. rantaelainplanktonille.

Heinä-elokuussa, joka samalla edustaa rantakasvillisuuden kannalta optimaalisinta kasvukautta, säännöstely on selvästi kaventanut vedenkorkeuden vaihteluväliä (kuva 19b). Keiteleessä ja luonnonmukaisessa Päijänteessä on vedenkorkeus ollut selvästi laskeva. Laskeva vedenkorkeus edistää tunnetusti kasvillisuuden



Kuva 18. Keskimääräinen vuosien 1971-95 tulvan nousunopeus (cm) tutkimusjärvillä. Psä = Päijänne säännösteltynä, Plu = Päijänne luonnonmukaisena, Kei = Keitele. Katso selitykset tekstissä.



Kuva 19. Vedenkorkeuden mediaanit ja ylä- sekä alaverhokäyrän taso eri ajanjaksoina. a) Kesäkuu, b) Heinä-Elokuu, c) Avovesikausi (keskimääräisestä jäänlähdestä syyskuun loppuun), d) Koko avovesikausi (keskimääräisestä jäänlähdestä jääpeitteen muodostumiseen). Vedenpinnan 0-taso on avovesikauden mediaani.

vyöhykkeisyyden syntyä ja on erityisen tärkeä saraikolle. Heinä-elokuun vedenkorkeuden perusteella rantavyöhykkeen saraikkojen määrä näyttäisi vähentyvän säännöstelyn myötä kun taas ruokojen ja kortteikkojen määrä saattaa lisääntyä.

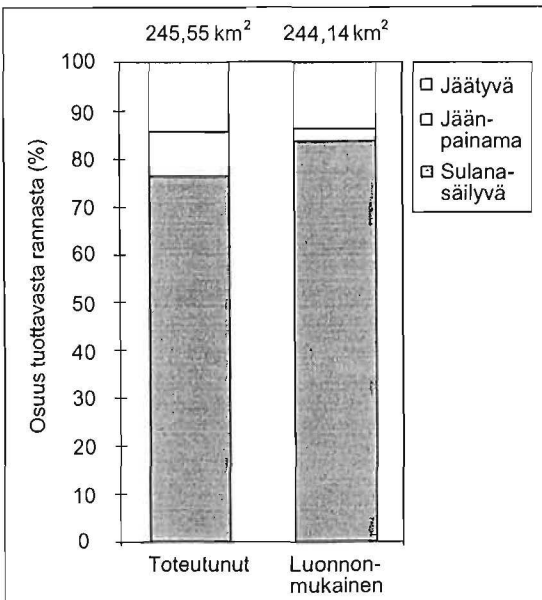
Avovesikaudella, jonka mediaania on käytetty kaikkien kesähavaintojen nollatasona, on vedenkorkeuden vaihtelu ollut luonnonmukaisena selvästi voimakkaampaa (kuva 19c). Tilanne on samansuuntainen, kun avovesikauteen otetaan mukaan myös aika ennen jättien tuloa, mutta usein jo varhain alkavat säännöstelyjuoksutukset kuitenkin lisäävät vaihteluväliä (kuva 19d). Tarkasteltaessa todellista korkeuteen sidottua mediaania Päijänteellä on se laskennallisen avovesikauden suhteen neljä senttiä korkeammalla säännösteltynä kuin luonnonmukaisena.

5.4 Laskeutuvan jään vaikutus rantavyöhykkeellä

5.4.1 Mallitarkastelu

Laskeutuvan jään vaikutusta Päijänteen rantavyöhykkeellä tarkasteltiin vakiintuneella laskentakäytännöllä (kts. menetelmät). Taustamuuttujina käytettiin luonnonmukaista ja havaittua vedenkorkeuden vaihtelua. Keskimääräisenä vedenvärinä käytettiin arvoa 35 mg Pt/l. Rantavyöhykkeen keskimääräinen kaltevuus laskettiin maastomittausten keskimääräisten havaintojen mukaan. Kuvaan 20 on koottu eri vyöhykkeiden pinta-alat.

Vedenkorkeuden säännöstely näkyy lähinnä jäänpainumavyöhykkeen pinta-alan laajenemisena noin kolmesta prosentista yhdeksään prosenttiin koko tuottavan vyöhykkeen pinta-alasta (kuva 20). Ekologisesti huomattavasti merkittävemmän jäätyvän vyöhykkeen pinta-ala sen sijaan laajenee vain puolella prosentilla 13,7 prosentista 14,3 prosenttiin. Myös jäätyvän vyöhykkeen pinta-alaa tarkasteltaessa voidaan Päijänteen säännöstelyä pitää melko lievänä.

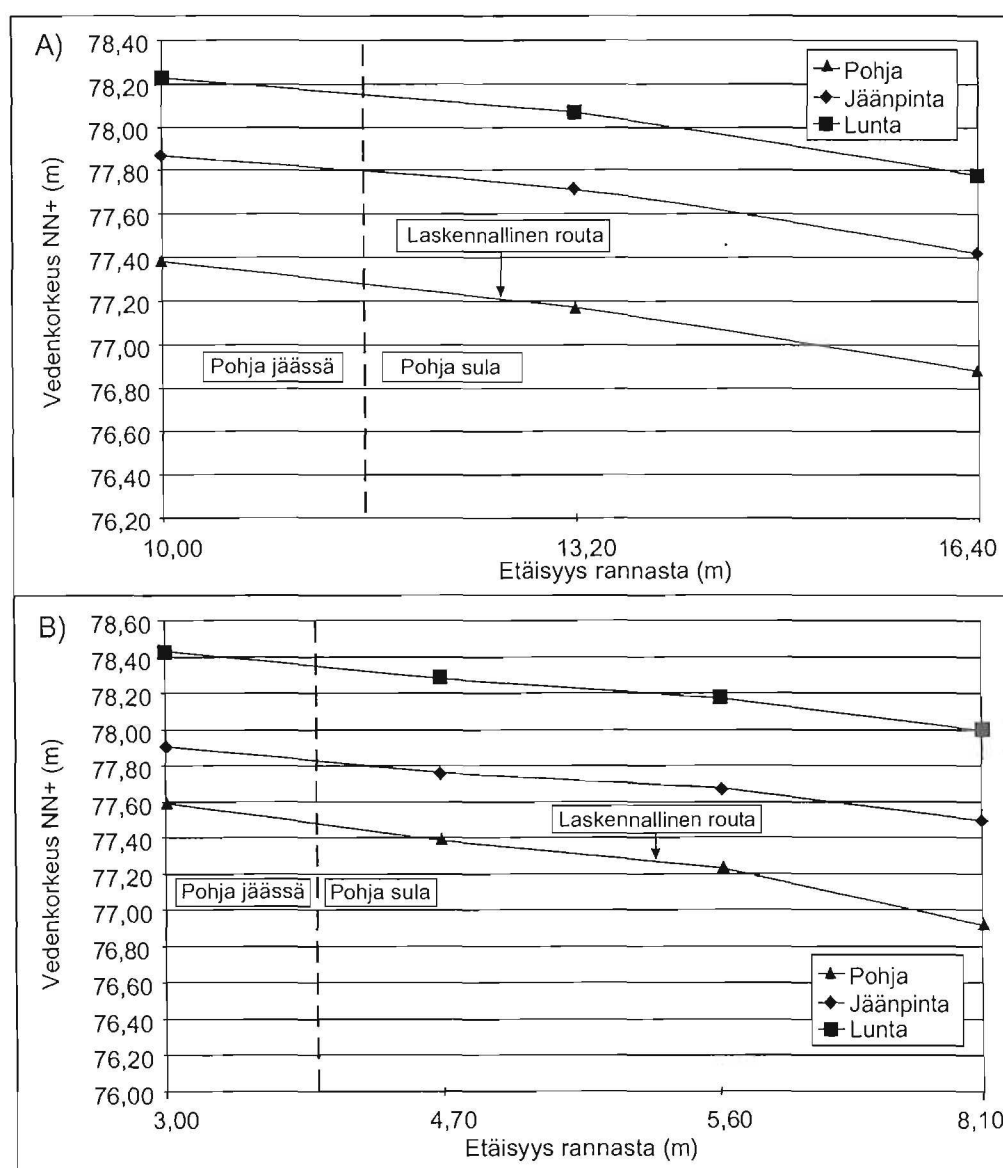


Kuva 20. Jään vaikutuspiirissä olevien vyöhykkeiden pinta-ala säännösteltynä (toteutunut) ja luonnonmukaisena (luonnonmukainen) vuosien 1971-95 aineiston perusteella laskettuna.

5.4.2 Maastomittaukset

Laskeutuvan jään vaikutuksen analysointi perustui pääasiassa kokemuksiin Pohjois-Suomen säännöstellyillä järvillä, joissa myös ilmasto-olosuhteet ovat huomattavasti ankarampia. Jään vaikutus rantavyöhykkeellä varmistettiin maastomittauksilla, joissa pyrittiin arvioimaan samalla edelläkäytetyn laskentamenetelmän luotettavuutta (kuva 21).

Päijänteen Tikan alueella sijaitsevalla loivalla etelään avautuvalla hiekkarannalla jäätyneen pohjan vyöhyke ulottuu noin tasolle NN + 77,28 m, kun taas laskettu arvo olisi ollut NN+ 77,20 m (kuva 21). Moreenirannalla ero laskettuun oli hieman suurempi, koska havaittu arvo oli NN+ 77,49 m ja laskettu NN+ 77,35 m. Talvella 1996 vedenkorkeus oli ollut poikkeuksellisen matalalla; esimerkiksi edeltävän helmikuun kuudennen päivän vedenkorkeus oli tasolla NN + 77,64 m, kun pitkäaikainen keskiarvo on tasolla NN+ 78,16 m. Tulos osoittaa kuitenkin, että laskentamenetelmä soveltuu suuntaa antavasti myös Päijänteen olosuhteisiin.



Kuva 21. Jäänvaikutusvyöhykkeiden mittaukset Jyväskylän Tikan alueen hiekkarannalla (A) ja moreenirannalla (B) 3.4.1996.

5.5 Yhteenveto

Vedenkorkeuden säännöstely on kaventanut keskimäärin 23 cm avovesikauden vedenkorkeuden vaihteluvyöhykettä Päijänteessä. Talvella vedenkorkeuden alenema on säännösteltynä ollut miltei kaksinkertainen luonnontilaan verrattuna, mutta edelleenkin vähäinen (keskimäärin 45 cm). Kevättulvassa tapahtuneita muutoksia kuvaa parhaiten ajanjakson pituus, jolloin vedenkorkeuden vaihteluvyöhykkeen (eulitoraali) keskiosa on vedenpinnan alapuolella alkukesällä (10.5.-10.6); aika on ollut miltei kaksinkertainen luonnonmukaisena (keskimäärin 12 vrk). Toinen huomattava muutos on jäänlähtöpäivän ja avovesikauden vedenkorkeuden välinen erotus. Vedenpinta on ollut sekä vertailujärvenä käytetyssä Keski-Keiteleessä että luonnonmukaisessa Päijänteessä ylempänä avovesikauden mediaania, mutta säännöstelyssä Päijänteessä noin 30 cm alempana. Tulvan nousunopeuksissa ei sen sijaan ole juurikaan eroa. Laskeutuvan jään alue on lisääntynyt kolmanneksen, mutta jäätyvän sedimentin alue vain vähän. Vain neljäsosa tuottavasta vyöhykkeestä on jään vaikutuksen alainen. Jään vaikutus on täten suhteellisen vähäinen.

**Suoraniemi, M.¹⁾³⁾, Hellsten, S.¹⁾, Huovinen, J.²⁾, Palomäki, R.²⁾
Keto, A.⁴⁾, Aronen, J.²⁾, Viikilä, K.⁴⁾, Saarnio, R.¹⁾ ja Keto, S.⁴⁾**

¹⁾VTT Yhdyskuntatekniikka, vesi- ja ekotekniikka

²⁾Keski-Suomen ympäristökeskus

³⁾Suomen Ympäristövaikutusten Arviointikeskus Oy

⁴⁾Päijänne luontokeskus

6.1 Tutkimusalueiden taustamuuttujat

6.1.1 Kaltevuus

Kasvilinjat sijoitettiin kaikki suojaisille ranta-alueille, jolla pyrittiin vakioimaan kasvillisuuteen voimakkaasti vaikuttavan avoimuuden merkitys. Eri osa-alueiden kasvillisuuden vertailu edellyttääkin, ettei myöskään rannan kaltevuuksissa ja muodossa ole merkittäviä eroja, jotka vaikuttavat ulkoisia tekijöitä enemmän rannan kasvillisuuden koostumukseen.

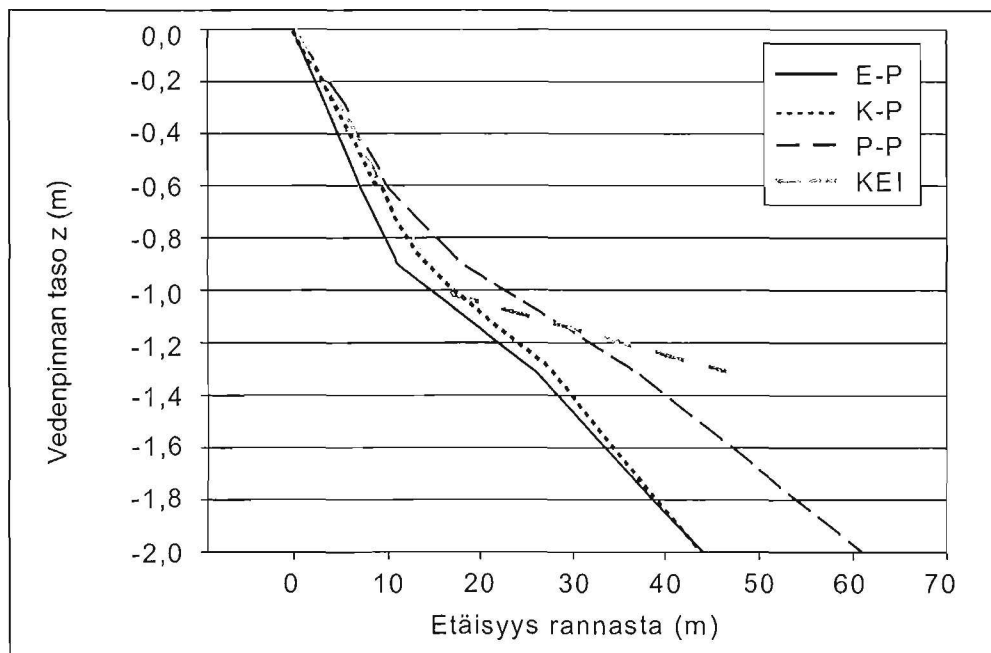
Tutkimuslinjojen profiilin suhteen Keiteleen linjat olivat lievästi loivempia kuin muut alueet, vaikka Pohjois-Päijänteellä ylin rantavyöhyke olikin kaikista loivin (kuva 22). Tutkimuslinjojen keskimääräisessä kaltevuudessa, joka on laskettu 3 metrin syvyyteen asti, ei ollut merkittävää eroa Päijänteen eri osa-alueiden välillä (kuva 23). Pohjois- ja Etelä-Päijänne olivat tilastollisesti merkitsevästi jyrkkärantaisempia kuin Keitele ($p = 0,0064$ ja $p = 0,0003$). Eri rantavyöhykkeiden kaltevuudet eivät eronneet toisistaan merkitsevästi Päijänteen eri osien eivätkä Päijänteen ja Keiteleenkään välillä (kuva 24). Keskimäärin Keiteleen rannat ovat loivempina lievästi herkempiä umpeenkasvulle verrattuna Päijänteen rantoihin. Umpeenkasvun voimakkuutta arvioitaessa Keiteleen aineisto ei siten ainakaan liioittele umpeenkasvua Päijänteeseen verrattuna.

6.1.2 Avoimuus ja muoto

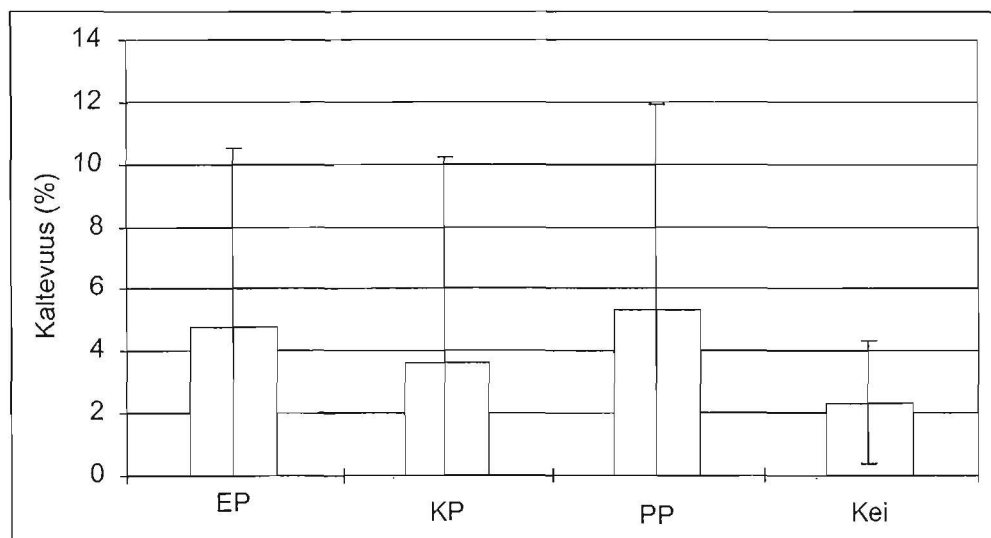
Avoimuuden ja muodon suhteen Päijänteen eri osat ja Keitele eivät poikenneet tilastollisesti merkitsevästi toisistaan (taulukko 8). Tilastollisten testien tulokset on esitetty liitteessä 6. Aineistot täyttävät niille asetetut vaatimukset suojaisuuden suhteen.

Taulukko 8. Päijänteen eri osa-alueiden ja Keiteleen tutkimusrantojen avoimuuden ja muodon keskiarvot hajontoineen.

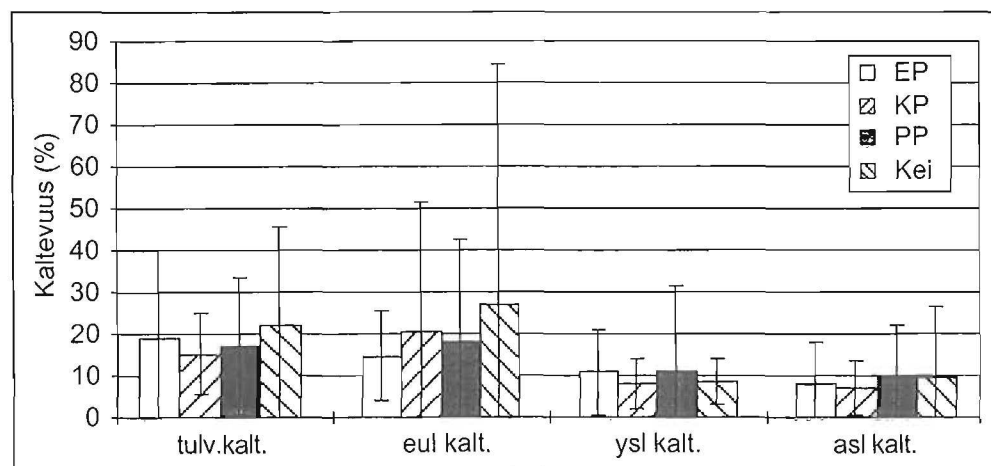
| | Avoimuus (km) | | Muoto 1 km (astetta) | | Muoto 0,5 km (astetta) | |
|-----|---------------|---------|----------------------|---------|------------------------|---------|
| | keskiarvo | hajonta | keskiarvo | hajonta | keskiarvo | hajonta |
| EP | 937 | 762 | 30 | 28 | 43 | 31 |
| KP | 1086 | 1274 | 36 | 40 | 55 | 43 |
| PP | 961 | 823 | 30 | 23 | 46 | 30 |
| Kei | 866 | 639 | 35 | 25 | 56 | 36 |



Kuva 22. Päijänteen eri osa-alueiden ja Keiteleen rantavyöhykkeen keskimääräinen profiili laskettuna avovesikauden vedenpinnan keskimääräisestä tasosta ($z = 0$).



Kuva 23. Kolmen metrin syvyyskäyrään laskettu rannan keskimääräinen kaltevuus (± 1 -SD) Etelä-, Keski- ja Pohjois-Päijänteellä sekä Keiteleellä.



Kuva 24. Eri rantavyöhykkeiden keskimääräiset kaltevuudet (± 1 -SD) Päijänteellä ja Keiteleellä. tulv. = tulvavyöhyke, eul = eulitoraali, ysl = ylin sublitoraali, asl = alin sublitoraali.

Tarkasteltaessa eri muuttujien välisiä keskinäisiä riippuvuussuhteita (taulukko 9) havaitaan ainoastaan avoimuuden ja muodon korreloivan erittäin merkittävästi tai merkittävästi toistensa kanssa kaikilla osa-alueilla, kuten on havaittu myös esimerkiksi Inarijärvellä (Hellsten ym. 1997). Avoimuuden (ja muodon) valinta muuttujaksi, jonka perusteella rajataan suuri osa tulosten tulkintaa häiritseviä muuttujia pois näyttää toimivan hyvin myös Päijänteellä (vrt. Palomäki & Hellsten 1996). Kaikki kasvillisuuslinjat ovat siis keskenään vertailukelpoisia.

6.1.3 Veden nykyinen fysikaalis-kemiallinen laatu

6.1.3.1 Päijänne

Päijänteen nykyistä vedenlaatua arvioitiin lähinnä viimeisen viidentoista vuoden aikana kerätyn vedenlaatuaineiston avulla (taulukko 10). Vedenlaadun paraneminen on ollut melko selvä kaikilla osa-alueilla siirryttäessä viisivuotisjaksosta toiseen (vrt. 4.1). Erityisen selviä ovat kuitenkin vedenlaadun alueelliset erot eli vedenlaatu paranee siirryttäessä Poronselältä Asikkalanselälle. Ainoan poikkeuksen muodostaa Jämsänjokilaaksoon ulottuva osa, jossa etenkin Tiirinselällä vedenlaatu on vieläkin melko huono. Lehtiselän havaintopisteissä on tilanne kuitenkin jo huomattavasti parempi.

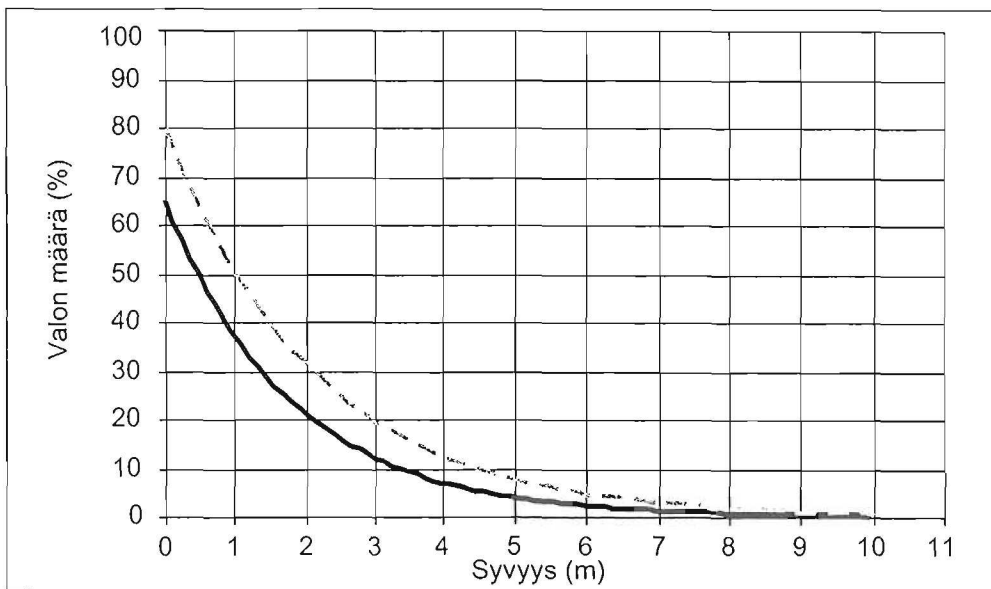
Kasvillisuuden kannalta veden valoilmasto on hyvin keskeinen tekijä (kuva 25). Päijänteen Kinisselällä valon kokonaismäärästä makrofyyttisen kasvillisuuden kannalta kriittinen 10 % saavutetaan noin kolmen metrin syvyydessä.

Taulukko 9. Avoimuuden, muodon ja kaltevuuden korrelaatiot Päijänteen ja Keiteleen kasviliinja-aineistoissa.

| | Kaltevuus (%) | Avoimuus (km) | Muoto 1 km (ast.) |
|---------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Avoimuus (km) | -0,004 n = 143 p = 0,958 | | |
| Muoto 1 km (ast.) | 0,1026 n = 143 p = 0,223 | 0,6415 n = 159 p = 0,000 | |
| Muoto 0,5 km (ast.) | 0,0282 n = 143 p = 0,738 | 0,6002 n = 159 p = 0,000 | 0,7344 n = 159 p = 0,000 |

Taulukko 10. Päijänteen eri osa-alueiden avovesikauden aikainen keskimääräinen kokonaisfosforipitoisuus ja väri eri vuosijaksoina. N:ro = havaintopaikan numero (kokoomanäyte 0-5m)

| Osa-alue | N:ro | Kokonaisfosfori (µg/l) | | | Veden väri (mg Pt/l) | | |
|-----------------|------|------------------------|-----------|-----------|----------------------|-----------|-----------|
| | | 1980-1984 | 1985-1989 | 1990-1994 | 1980-1984 | 1985-1989 | 1990-1994 |
| Poronselkä | 69 | 19 | 18 | 16 | 50 | 40 | 35 |
| Ristiselkä | 70 | 16 | 17 | 13 | 50 | 40 | 35 |
| Vanhanselkä | 71 | 14 | 13 | 12 | 45 | 40 | 30 |
| Souselkä | 72 | 14 | 13 | 11 | 45 | 40 | 35 |
| Tiirinselkä | 657 | 33 | 32 | 28 | 70 | 70 | 60 |
| Lehtiselkä W | 73 | 19 | 17 | 15 | 45 | 55 | 40 |
| Lehtiselkä E | 675 | 17 | 19 | 14 | 50 | 50 | 35 |
| Judinsalonselkä | 76 B | 12 | 11 | 12 | 40 | 35 | 35 |
| Tehinselkä | 76 | 9 | 9 | 8 | 35 | 30 | 25 |
| Virmailanselkä | 77 | 9 | 8 | 9 | 34 | 25 | 25 |
| Asikkalanselkä | 78 | 8 | 8 | 7 | 30 | 30 | 25 |



Kuva 25. Veteen tunkeutuvan valon osuus pinnalle tulevasta valosta eri syvyyksillä Päijänteen Kinisselällä (katkoviiva) ja Keiteleen Kivenkorvanselällä (yhtenäinen viiva).

6.1.3.2 Keski-Keitele

Keski-Keiteleen veden laadun alueellista vaihtelua käsitellään seuraavassa lähinnä Olkion (1993) tekemän vedenlaatuselvityksen perusteella. Taulukkoon 11 on koottu tietoja Keski-Keiteleen vedenlaadusta vuodelta 1993.

Valtaosan Keski-Keiteleen pohjoisosasta muodostaa Kymön, Suovan- ja Kokonselän alueet. Alueen pohjoisosaan laskee humuspitoisia vesiä (esim. Muikunlahti), joten vesi on lievästi humusväritynyttä ja kokonaisfosforipitoisuus on vähän kohonnut (taulukko 11). Keski-Keiteleen kaakkoisosaa, joka koostuu lähinnä Lavianselästä on sen sijaan hyvin vähäravinteinen ja kirkasvetinen. Keski-Keiteleen eteläosan Karttu- ja Räihänselkien vedenlaatu on lähinnä sekoitus karun kaakkoisosan ja hieman rehevämmän pohjoisen osan vedenlaadusta.

Veden valoilmasto muistuttaa melko paljon Päijännettä, mutta Kivenkorvanselällä tehty yksittäinen mittaus osoittaa valon tunkeutuvan jonkin verran syvemmälle (kuva 25). Kasvillisuuden kannalta kriittinen raja-arvo saavutetaan noin neljän metrin syvyydessä.

6.1.4 Lähivaluma-alueen ominaisuudet

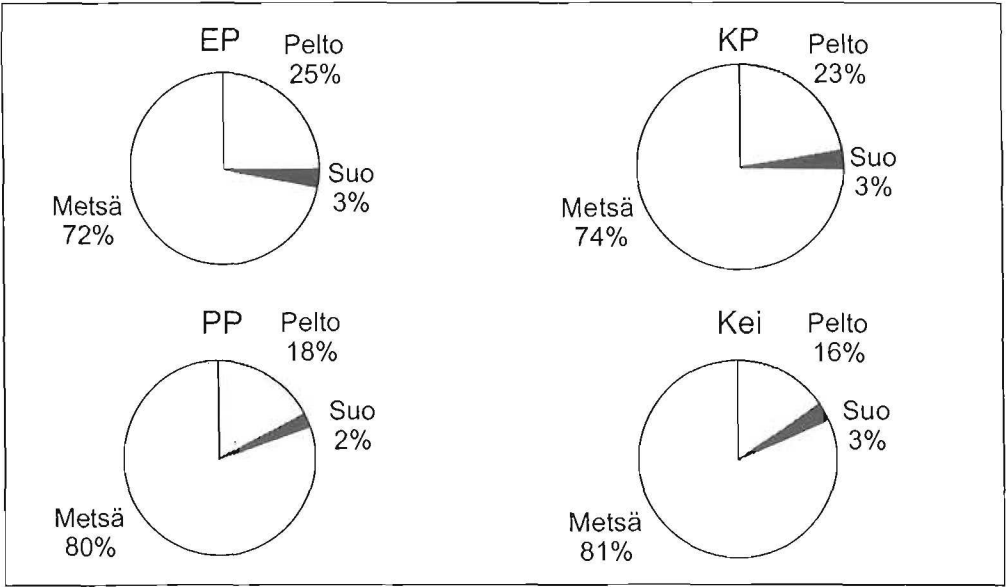
Jokaisen kasvilinjan lähivaluma-alueelta selvitettiin seuraavat muuttujat, joiden oletetaan vaikuttavan rannan kasvillisuuteen: avoimuus (fetch), rannan muoto, pellon, metsän ja suon osuus pinta-alasta, maankohoamisnopeus, maaperä, typpi- ja fosforikuormitus, purkupaikkojen (ojat, purot) etäisyys kasvilinjasta, pellon etäisyys kasvilinjasta, rakennusten lukumäärä, rinnekaltevuus ja rantavyöhykkeen kaltevuus. Valuma-alueanalyysin menetelmät on esitetty aiemmin luvussa 3.3.

Lähivaluma-alueet ovat metsävaltaisia kaikilla osa-alueilla (kuva 26). Etelä- ja Keski-Päijänteellä peltosen osuus on jonkin verran suurempi kuin Pohjois-Päijänteellä ja Keiteleellä. Suon osuus on kaikilla alueilla lähes sama. Erot eivät ole tilastollisesti merkitseviä ($p=0,1206$; Kruskal-Wallis testi).

Lähivaluma-alueet ovat pinta-alaltaan keskimäärin $0,5\text{--}0,6\text{ km}^2$ (kuva 27). Keiteleen ja Etelä-Päijänteen valuma-alueet olivat hieman muita alueita suurempia. Erot eivät ole kuitenkaan tilastollisesti merkitseviä, joten järven eri osista kerätyt aineistot ovat siltä osin vertailukelpoisia (Kruskal-Wallis testi, $p=0,1406$). Rannan

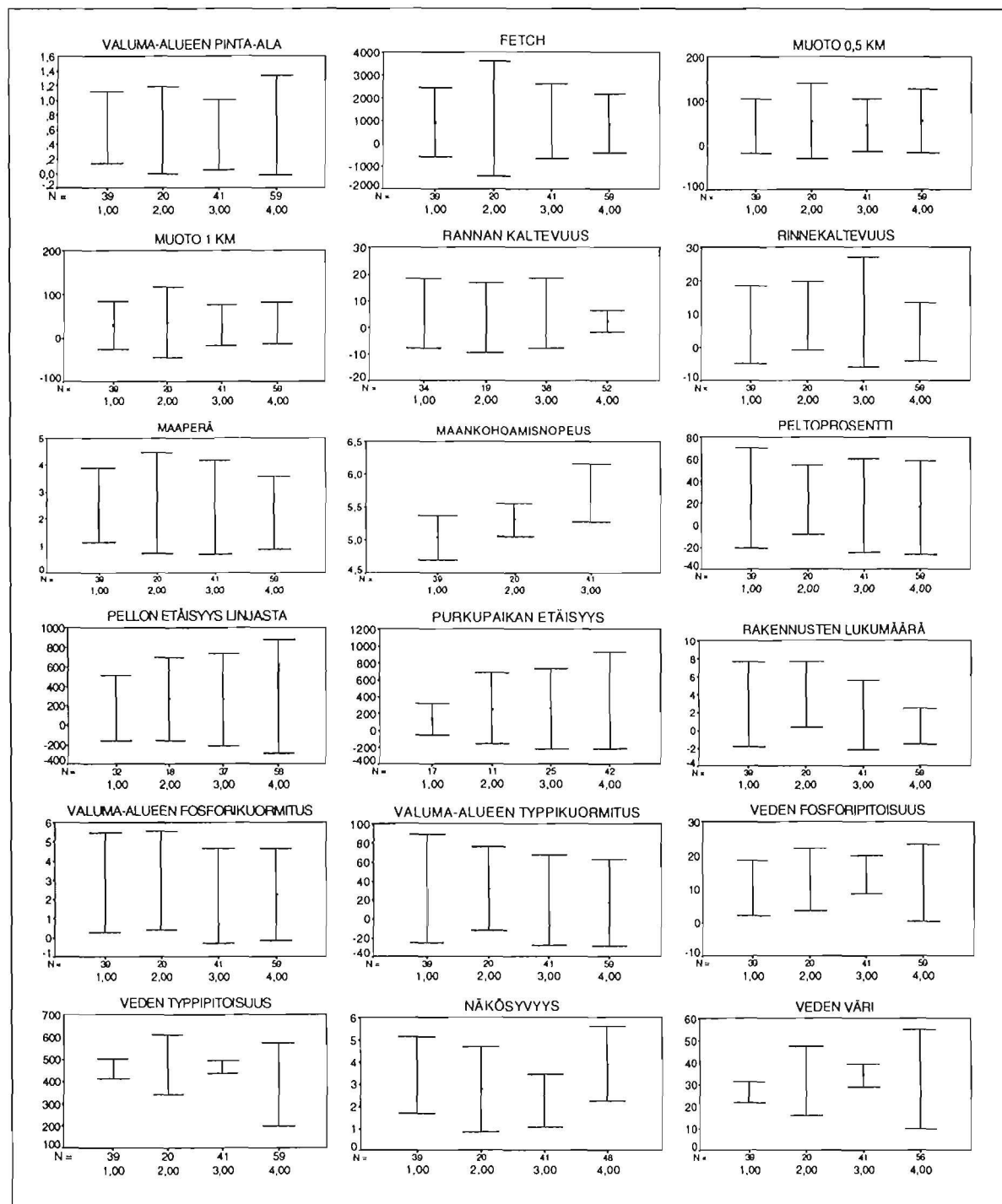
Taulukko 11. Keski-Keiteleen eri osa-alueiden avovesikauden aikainen kokonaisfosforipitoisuus ja väriarvo Olkion (1993) mukaan. *-merkityt KSU:n havainnot kesältä 1997 (kokoomanäyte 0-5 m).

| | Kokonaisfosfori ($\mu\text{g/l}$) | Veden väri (mg Pt/l) |
|--------------------------------------|--|-------------------------|
| Ulapat | | |
| Kokonselkä | 13 | 60 |
| Lavianselkä (kaakkoisosa) | 7 | 15 |
| Karttuselkä | 9 | 30 |
| Harinkaanselkä (kaakkoisosa) | 9 | 35 |
| Räihänselkä | 9 | 25 |
| Karttuselkä (eteläosa) | 9 | 30 |
| Vehkoselkä* | 11 | 35 |
| Lahdet | | |
| Muikunlahti (Eskinsalmen eteläpuoli) | 13 | 50 |
| Kaivannonlahti (Kiminki) | 18 | 30 |
| Ilmolahti (Isoselän eteläpuoli) | 22 | 40 |
| Niinilahti | 16 | 50 |
| Autionlahti | 21 | 50 |
| Suovanlahti | 24 | 60 |
| Harinkaanlahti | 14 | 30 |
| Pyhälähti | 9 | 20 |
| Lintulahti | 10 | 35 |
| Kajamanlahti | 10 | 25 |
| Sulkavanlahti* | 10 | 33 |
| Likolahti* | 15 | 25 |
| Ilmolahti* | 8 | 25 |
| Peiponsalmi | 15 | 35 |
| Murtosalmi | 9 | 30 |
| Palopohja | 8 | 10 |



Kuva 26. Metsän, pellon ja suon osuus Etelä-, Keski- ja Pohjois-Päijänteen sekä Keiteleen lähivaluma-alueilla.

Valuma-alueelta tuleva laskennallinen fosforikuormitus on keskimäärin 2-3 kg P/a (kuva 27). Alueiden välillä ei ole tilastollisesti merkitsevää eroa ($p=0,487$). Typpikuormitus on keskimäärin 20-30 kg N/a, pienintä kuormitus on Keiteleellä ja Pohjois-Päijänteen valuma-alueilla. Erot alueiden välillä ovat tilastollisesti merkitseviä ($p=0,0005$). Typpikuormitus kasvoi laskentatavasta johtuen yhdessä peltoprosentin kanssa.



Kuva 27. Valuma-alueuuttujen keskiarvot ja keskihajonnat. X-akseli: 1 = Etelä-Päijänne, 2 = Keski-Päijänne, 3 = Pohjois-Päijänne ja 4 = Keitele.

Pellon ja purkupaikkojen etäisyys ei vaihtelee juurikaan alueiden välillä (kuva 27). Rakennusten lukumäärä valuma-alueella oli pienin Keiteleellä ja suurin Keski-Päijänteellä. Erot olivat tilastollisesti merkitseviä ($p=0,0000$; Kruskal-Wallis test). Lähivaluma-alueen rinnekaltevuus oli jyrkin Pohjois-Päijänteellä ja loivin Keiteleellä. Ero oli tilastollisesti merkitsevä ($p=0,0000$; Kruskal-Wallis test). Rannan kaltevuus laskettuna vesirajasta kolmen metrin syvyyteen oli suurin Etelä- ja Pohjois-Päijänteellä ja pienin Keiteleellä. Myös nämä erot olivat tilastollisesti merkitseviä ($p=0,0010$; Kruskal-Wallis test).

Vedenlaatumuuttujista kokonaisfosforipitoisuus kohosi Päijänteen pohjois-osa kohden (kuva 27). Keiteleen pitoisuudet olivat Etelä-Päijänteen luokkaa. Vedenlaatulokituksen mukaan Etelä-Päijänne ja Keitele ovat karuja, Keski- ja Pohjois-Päijänne lievästi reheviä. Erot alueiden välillä olivat tilastollisesti merkitseviä ($p=0,0000$). Keiteleen ja Päijänteen vertailukelpoisuutta heikentää se, että Keiteleellä suurempi osa havaintopisteistä sijaitsi lahtialueilla, jotka olivat suhteessa rehevämpiä Päijänteen pääasiassa selkävesien havaintopisteisiin verrattuna. Veden kokonaistyyppipitoisuus oli Keski-Päijänteellä suurin. Keiteleellä tyypeä oli vedessä selvästi vähemmän kuin Päijänteellä. Erot olivat tilastollisesti merkitseviä ($p=0,0000$).

Näkösyvyys oli suurin Keiteleellä, Päijänteellä se pieneni pohjoista kohden (kuva 27). Veden väri oli pienin Keiteleellä ja suureni Päijänteellä pohjoista kohti. Molempien vedenlaatumuuttujien erot olivat tilastollisesti merkitseviä ($p=0,0000$). Väri ja näkösyvyys eivät ole kuitenkaan rinnastettavissa, sillä ne on mitattu eri havaintopisteistä: väri ulappahavaintopisteistä, näkösyvyys kasvulinjojen edustalta.

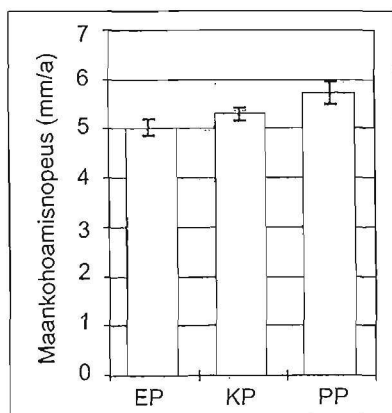
6.1.5 Maankohoamisnopeus

Maankohoamisnopeus on suurin Pohjois-Päijänteellä ja pienenee etelää kohti (kuva 28), minkä seurauksena järviollass kallistuu niin että Etelä-Päijänteellä uutta rantaa joutuu veden alle ja Pohjois-Päijänteellä paljastuu rantaa veden alta. Erot maankohoamisnopeuksissa Päijänteen eri osa-alueiden välillä ovat tilastollisesti merkitseviä ($p=0,0000$, Kruskal-Wallis test).

6.2 Rantavyöhykkeen umpeenkasvuaste

6.2.1 Yleistä

Tämän tutkimuksen lähtöoletusta, Päijänteen lahtialueiden kiihtynyttä umpeenkasvua on tarkasteltu tässä kappaleessa monien eri muuttujien valossa. Umppeenkasvua ilmentävinä tekijöinä on mitattu mm. eri kasvustojen leveyttä rannoilla, rantojen kasvittumisastetta, kasvustojen tiheyttä ja korkeutta, umpeenkasvun



Kuva 28. Keskimääräinen maankohoamisnopeus Etelä-Päijänteellä (EP), Keski-Päijänteellä (KP) ja Pohjois-Päijänteellä (PP) tutkituilla kasvulinjoilla. Ero maankohoamisnopeuksissa alueiden välillä on tilastollisesti merkittävä ($p=0,000$).

ilmentäjäkasvien yleisyyttä, rantavyöhykkeen maatumisastetta ja pohjan pehmeyttä. Lisäksi on tarkasteltu kasvien yleisyyden ja peittävyys yhdistävää kasvillisuusindeksiä, jonka on todettu kasvavan rehevyyden lisääntyessä (Ilmavirta & Toivonen 1986).

Näiden muuttujien avulla on pyritty selvittämään, missä määrin Päijänteellä voidaan puhua umpeenkasvusta ja onko Päijänteen eri osien välillä eroa tässä suhteessa. Vertailukohteena on ollut säännöstelemätön Keitele. Umpeenkasvun historiallista kehitystä on arvioitu vertaamalla nykyisiä ja 1950- ja 1970-luvun kasvillisuusaineistoja.

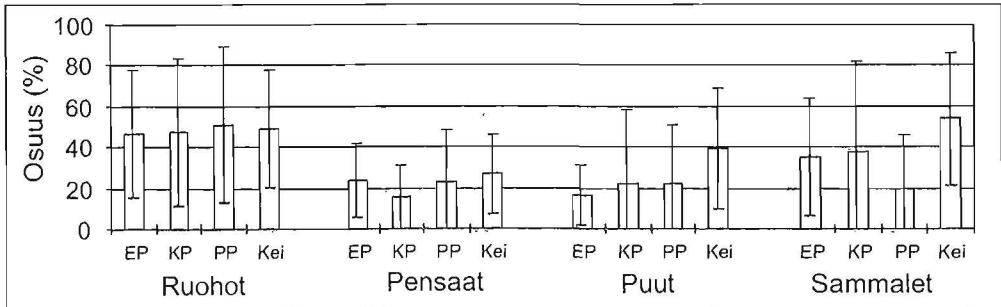
6.2.2 Eri kasvustojen leveydet

Kasvillisuuden vyöhykkeisyyden arviointi perustui vedenkorkeuden vaihteluvyöhykkeisiin, jotka pääsääntöisesti määräävät kasvillisuuden esiintymisalueet. Vyöhykkeet olivat siis tulvavyöhyke, eulitoraali, ylin sublitoraali ja alin sublitoraali. Tulvavyöhykkeellä kasvillisuus jaettiin elomuodon perusteella ruohovaltaiseen kasvillisuuteen, pensasiin, puustoon ja sammaleisiin. Muilla vyöhykkeillä erotettiin ilmaversoisen ja kelluslehtisen kasvillisuuden osuus.

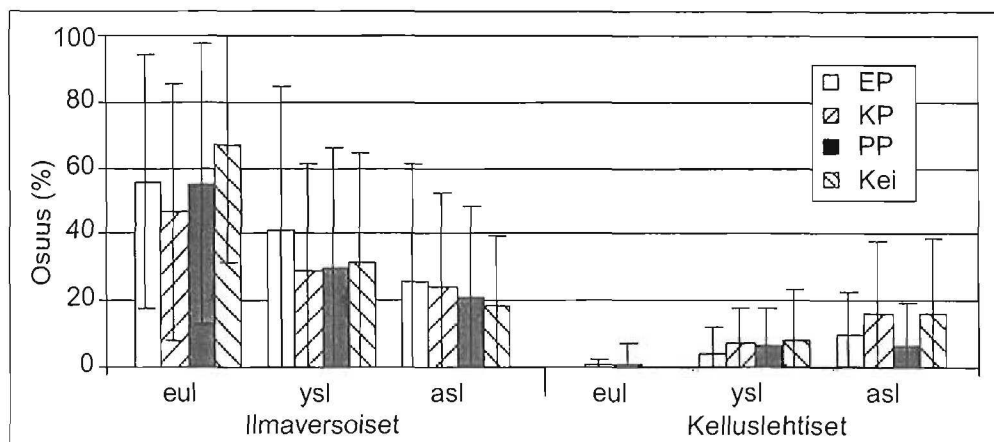
Tulvavyöhykkeellä vallitsevana oli ruohovaltainen kasvillisuus kaikilla järven osa-alueilla (kuva 29). Kasvillisuusvyöhykkeiden leveyksissä ei ollut tilastollisesti merkittävää eroa järven eri osien kesken lukuunottamatta sammalia, joita oli Pohjois-Päijänteellä vähemmän kuin Etelä-Päijänteellä ($p=0,003$). Todennäköisesti ero johtuu siitä, että kasvillisuuskartoitusta aloitettiin Pohjois-Päijänteeltä vedenpinnan ollessa vielä korkealla, jolloin sammalia ei ehkä löydetty. Kartoituksen edetessä Etelä-Päijänteelle vesi laski, jolloin sammat tulivat esiin. Lisäksi pitkä hellejakso ilmeisesti lisäsi sammalten leviämistä.

Keitele ei eronnut ruohojen ja pensaiden osuuden osalta Päijänteestä, mutta puiden ja sammalten osuus oli suurempi kuin Päijänteellä. Pitkäaikainen tulva vaikuttaa yleensä negatiivisesti sammalten ja rantapuuston määrään, joten Päijänteellä keskikesään ajoittuva ”tulva” rajoittaa sammalten leviämistä. Toisaalta tulvavyöhyke osittain määrittäysperusteesta johtuen on huomattavasti kapeampi Keiteleellä, joten puusto voi levittäytyä helpommin lähelle huonojakin elinolosuhteita. Tilastollisten testien tulokset on esitetty tarkemmin liitteessä 6.

Eulitoraalilla ja ylimmällä sublitoraalilla ei ollut tilastollisesti merkittävää eroa eri kasvillisuustyyppien osuuksissa järven eri osissa eikä Päijänteen ja Keiteleen välillä (kuva 30, liite 6). Keski-Päijänteellä tulokseen saattaa vaikuttaa suhteellisen pieni havaintojen määrä, mutta ilmeisesti kelluslehtisiä suosivia pehmytpohjaisia lahtia on alueella enemmän kuten seuraavassa kappaleessa todetaankin. Keiteleellä ilmaversoisten osuus oli eulitoraalilla suurempi kuin Päijänteellä, mutta ei



Kuva 29. Ruohojen, pensaiden, puuston ja sammalten osuus tulvavyöhykkeen leveydestä Etelä- (EP), Keski- (KP) ja Pohjois-Päijänteellä (PP) sekä Keski-Keiteleellä (Kei).



Kuva 30. Ilmaversoisten ja kelluslehtisten kasvustojen osuudet (%) eulitoraaalilla (eul), ylimmällä (ysl) ja alimmalla (asl) sublitoraalilla Päijänteen eri osa-alueilla ja Keiteleellä.

tilastollisesti merkitsevästi. Ylimmän ja alimman sublitoraalin kasvustojen leveyksissä järvien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa. Ilmaversoisten lievästi suurempi osuus voi johtua yksinkertaisesti niiden menestymisestä vedenkorkeuden vaihteluvyöhykkeellä. Kyseessä ei ole umpeenkasvun indikaattoreiden, vaan luontaisesti vedenkorkeuden vaihtelua sietävien ilmaversoisten määrä.

6.2.3 Rannan kasvittuminen

6.2.3.1 Kasvittumisaste

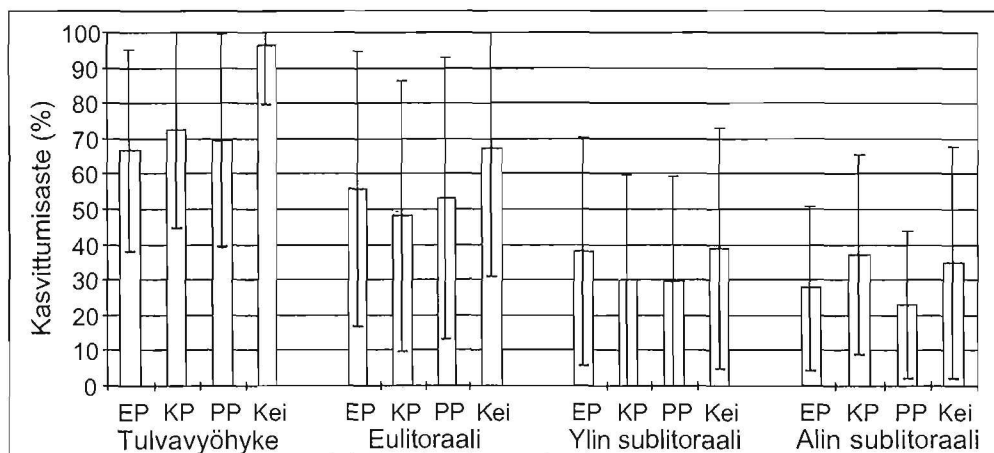
Tulvavyöhykkeen kasvittuminen oli hieman vähäisempää Etelä-Päijänteellä kuin muualla (kuva 31). Eulitoraalin ja yläsublitoraalin kasvittuminen taas oli voimakainta Etelä-Päijänteellä ja alasublitoraalin Keski-Päijänteellä. Rannan vyöhykkeiden kasvittumisasteessa ei ollut kuitenkaan tilastollisesti merkittävää eroa järvien eri osien kesken (testeinä toisistaan riippumattomien otosten t-testi ja Mann-Whitneyn U-testi). Kasvittuminen väheni syvyyssuunnassa lukuunottamatta Keski-Päijännettä, jossa alasublitoraalin kasvittuminen oli hieman voimakkaampaa kuin yläsublitoraalin.

Rantavyöhykkeiden kasvittumisaste oli Keiteleellä kautta linjan hieman suurempi kuin Päijänteellä. Tulvavyöhykkeellä ero oli jopa tilastollisesti merkitsevä. Ilmeisesti syyt ovat olleet samat kuin edellisessä kappaleessa mainitut. Keiteleen alhaisempi vedenkorkeus ja eri arvioitsija on voinut myös vaikuttaa tilanteeseen (kuva 31).

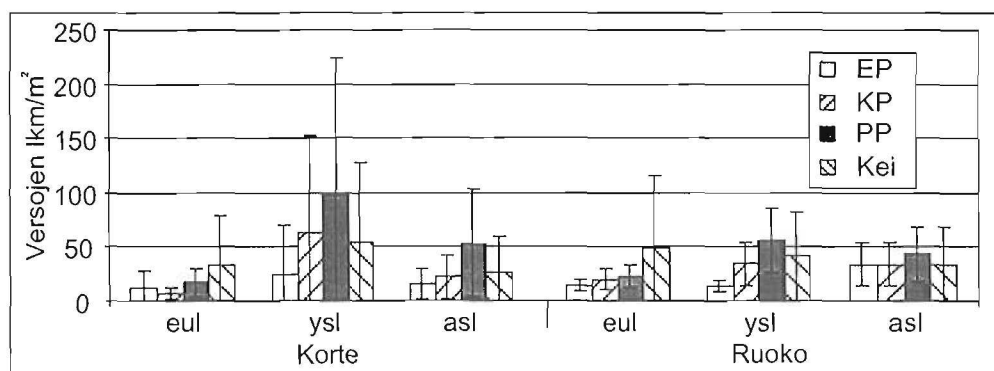
6.2.3.2 Ilmaversoisten tiheys ja korkeus

Ilmaversoiset jaettiin kolmeen luokkaan: kortteet, ruo'ot ja kaislat. Versotihyksiä ja versojen korkeutta Päijänteen eri osien rantavyöhykkeillä ja Keiteleellä verrattiin t-testillä (normaalisti jakautuneet aineistot) tai Mann-Whitneyn U-testillä (ei-normaaliset aineistot).

Sekä kortteiden että ruokojen versotihyys oli pienin Etelä-Päijänteellä ja suurin Pohjois-Päijänteellä (kuva 32). Kaislaa ei esiintynyt eulitoraalilla lainkaan. Ylimmällä ja alimmalla sublitoraalillakin kaislat olivat harvinaisia: Pohjois- ja Keski-Päijänteeltä niitä löytyi vain yhdestä paikasta, Etelä-Päijänteeltä muutamasta. Kaisla-aineisto oli liian pieni tilastolliseen testaamiseen. Tilastollisesti merkitseviä eroja löytyi ylimmän ja alimman sublitoraalin kortteiden tiheyksissä sekä ylimmän sublitoraalin ruokotihydessä.



Kuva 31. Keskimääräinen kasvittumisaste ja keskihajonta Päijänteen eri osa-alueiden ja Keiteleen rantavyöhykkeillä.

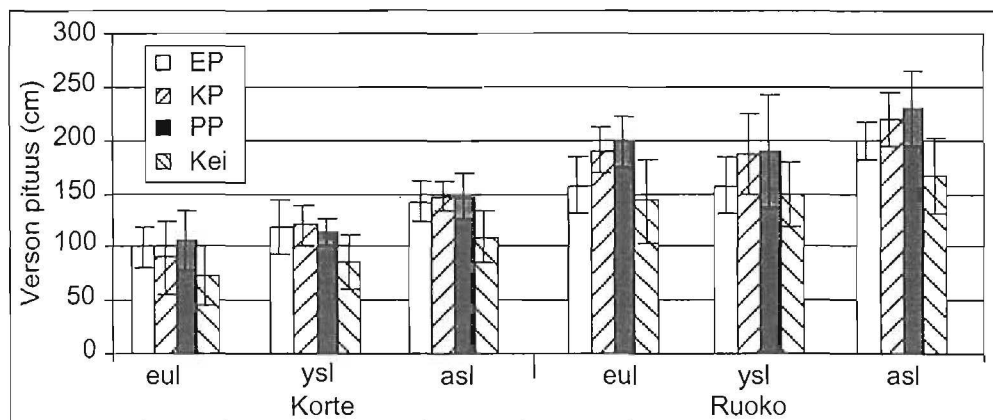


Kuva 32. Ilmaversojen tiheys (lkm/m²) eulitoraalilla (eul), ylimmällä (ysl) ja alimmalla (asl) sublitoraalilla Päijänteen eri osa-alueilla ja Keiteleellä

Keiteleellä kortteiden keskitiheys oli keskimäärin samaa luokkaa kuin Päijänteellä, mutta ruokotiheydet eulitoraalilla jopa suuremmat kuin Päijänteellä. Erot eivät olleet kuitenkaan tilastollisesti merkitseviä (liite 6). On kuitenkin huomattava, että otoksessa olivat mukana vain sellaiset rannat, joilla kortteikoita ja ruovikoita esiintyi. Kaikki rannat huomioon ottaen ruovikoituneiden rantojen osuus oli Keiteleellä huomattavasti pienempi kuin Päijänteellä. Mahdollinen selitys kasvustojen tiheyteen Keiteleellä voi löytyä kasvualustan ominaisuuksista. Päijänteellä tulva ei puhdista edellisvuosien kuollutta ruokokasvustoa rannalta, vaan se jää paksuiksi patjoiksi ruokovyöhykkeelle. Tämä estää tiheiden ruokokasvustojen muodostumisen eulitoraalilla. Keiteleellä kuollut kasvijäte ei jää ruokovyöhykkeelle, jolloin tiheiden kasvustojen muodostuminen on mahdollista. Päijänteen ja Keiteleen maastomittaukset tehtiin sään suhteen hyvin erilaisina kesinä, mikä on voinut myös vaikuttaa tulokseen.

Kortteiden pituudet olivat hyvin samanlaisia eri puolilla Päijännettä. Ruokojen pituudet sen sijaan olivat Etelä-Päijänteellä pienempiä ja Pohjois-Päijänteellä suurimpia (kuva 33). Erot osa-alueiden välillä eivät olleet kuitenkaan tilastollisesti merkitseviä (liite 6). Kaislojen korkeuden vertailu ei ole mahdollista aineiston pienuudesta johtuen. Tulokset kertovat kuitenkin selvästi Pohjois-Päijänteellä vallitsevasta muista alueita voimakkaammasta maatumisesta. Ilmeisesti ero olisi ollut vieläkin suurempi, mikäli Pohjois-Päijänteen tutkimukset olisi tehty vedenpinnan laskettua alas tulvakorkeudesta myöhemmin kesällä.

Keiteleellä sekä kortteiden että ruokojen versot olivat lyhyempiä kuin Päijänteellä. Erot olivat lähes kaikissa tapauksissa tilastollisesti merkitseviä (kuva 33, liite 6). Tämän voidaan olettaa johtuvan siitä, että kasvupotentiaalia (pohjan ja veden ravinteet) on



Kuva 33. Ilmaversoisten keskipituus (cm) eulitoraalilla (eul), ylimmällä (ysl) ja alimmalla (asl) sublitoraalilla Päijänteen eri osa-alueilla ja Keiteleellä.

Keiteleellä vähemmän. Päijänteellä maativasta kasviaineksesta vapautuu ravinteita uusille kasvustoille, Keiteleellä tulva poistaa ravinteita rantavyöhykkeeltä huuhtellessaan kuolleen kasviaineksen ylös rannalle. Toisaalta Päijänteellä kasvustot olivat harvempia. Tämä voi johtua edellisvuotisista pystyyn jääneistä versoista, jotka varjostavat uutta kasvustoa. Uuden kasvuston on tällöin kasvettava enemmän pituutta yhteyttämisen varmistamiseksi ja kasvusto voi harventua.

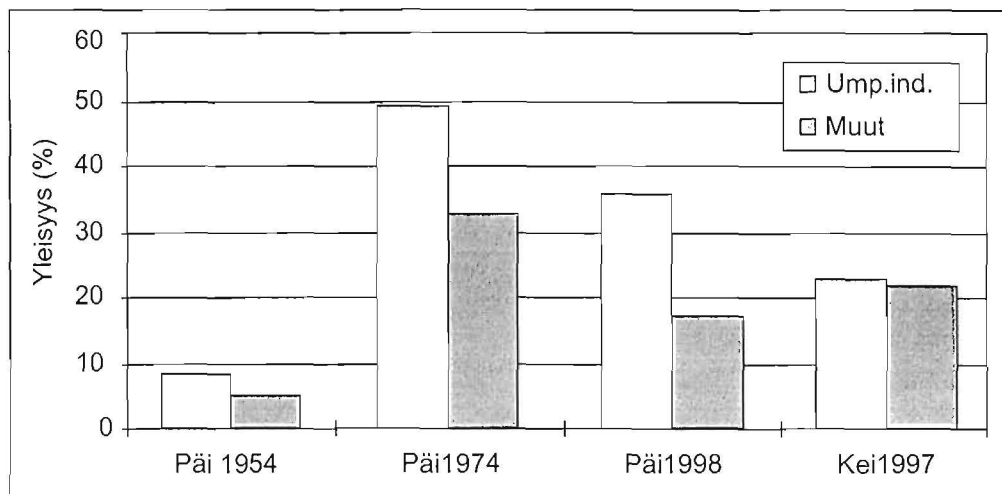
6.2.4 Umpeenkasvun indikaattorilajien yleisyys

Umpenkasvua indikoivien lajien määrän kehitystä on pyritty arvioimaan vertaamalla niiden keskimääräistä yleisyyttä eri vuosina. Keskimääräinen yleisyys on keskiarvo yksittäisten lajien yleisyyksistä. Yksittäisen lajin yleisyys saadaan laskemalla kuinka monella linjalla tutkituista kyseinen laji on esiintynyt.

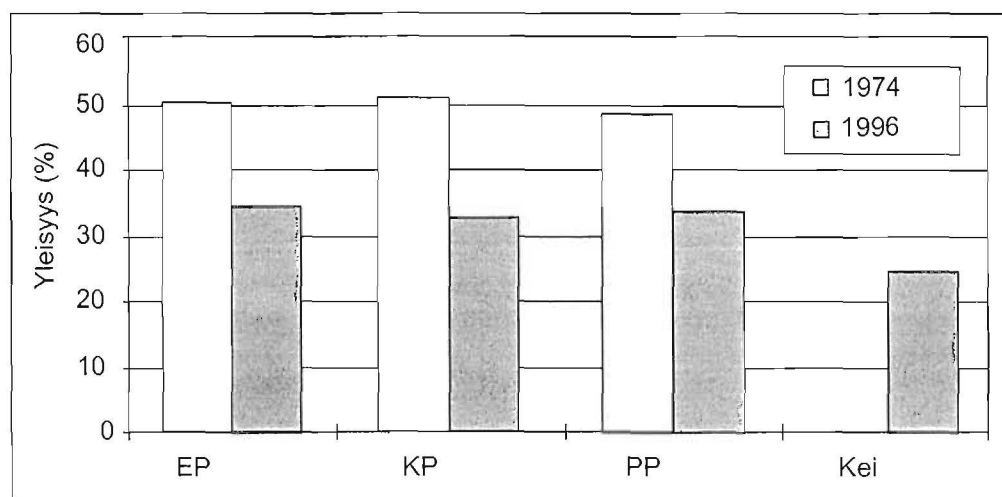
Umpenkasvun indikaattorilajeiksi on määriteltä Päijänteellä esiintyvistä lajeista viiltosara (*Carex acuta*), pullosara (*C. rostrata*), luhtasara (*C. vesicaria*), järvikorte (*Equisetum fluviatile*), ruokohelpi (*Phalaris arundinacea*), järviruoko (*Phragmites australis*), järvikaisla (*Schoenoplectus lacustris*), haarapalpakko (*Sparganium erectum*), kapeaosmankäämi (*Typha angustifolia*) ja leveaosmankäämi (*Typha latifolia*) (Hinneri 1966, Nykänen 1998). Yleisyyksien vertailu on tehty koko järven aineistolla vuosina 1954-74 ja 1974-96, osa-aluekohtaisesti vuosina 1974-96 ja Päijänteen ja Keiteleen välillä 1996 ja 1997 aineistoista. Tilastollinen vertailu tehtiin parittaisella t-testillä (toistuva mittaus samasta paikasta, aineistot noudattivat normaalijakaumaa).

Verrattaessa eri havaintovuosia toisiinsa oli koko järven aineistossa umpenkasvun indikaattorilajien keskimääräinen yleisyys pienimmillään vuonna 1954 ja suurimmillaan vuonna 1974 (kuva 34). Vähentäminen vuodesta 1974 vuoteen 1996 oli myös merkittävä. Aineiston erilaisista keruutavoista johtuen tilastollista testausta ei ollut mahdollisuutta tehdä. Umpenkasvun indikaattorilajien keskimääräinen yleisyys suhteessa muun lajiston yleisyyteen on kasvanut 1970-luvulle tultaessa ja pysynyt lähes samana siitä lähtien. Umpenkasvun ilmentäjälaajisto on siten ehkä säilyttänyt asemansa paremmin kuin muu lajisto. Keiteleellä umpenkasvun indikaattorien keskimääräinen yleisyys on pienempi kuin Päijänteellä eivätkä umpenkasvun indikaattorilajit ole yleisempiä kuin muutenkin lajit.

Osa-aluekohtaisessa tarkastelussa havaittiin samoin, että Etelä- ja Pohjois-Päijänteellä umpenkasvun indikaattorilajien keskimääräinen yleisyys oli pienentynyt vuodesta 1974 vuoteen 1996 (kuva 35). Ero oli tilastollisesti merkitsevä (EP: $p = 0,001$ ja PP: $p = 0,021$). Keski-Päijänteellä kehitys oli samansuuntainen, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä ($p = 0,151$). Keiteleellä keskimääräinen



Kuva 34. Umpeenkasvun indikaattorilajien (ump.ind.) ja muun lajiston (muut) keskimääräiset yleisyydet (%) vuosina 1954-1996.



Kuva 35. Umpeenkasvun indikaattorilajien keskimääräinen yleisyys (%) Etelä-, Keski- ja Pohjois-Päijänteellä vuosina 1974 ja 1996 ja Keiteleellä 1997.

yleisyys oli kymmenisen prosenttia pienempi kuin Päijänteellä. Päijänteen osaluokkien erot ovat vähäisiä; suurimmillaan umpeenkasvun indikaattoreiden määrä on Pohjois- ja Etelä-Päijänteellä.

Umppeenkasvun ilmeneminen ajoittuu Päijänteellä 1960-luvulle, jolloin säännöstely alkoi, mutta toisaalta myös ravinnekuormitus oli huipussaan. Todellisuudessa kasvillisuudessa tapahtunut muutos ei kuitenkaan liene niin suuri kuin tulokset osoittavat, sillä kasvillisuusaineistojen keräystavassa on mahdollisesti ollut eroa. Suominen (1997) mukaan Häyrénin (1954) aineistossa yleisimmät lajit (esimerkiksi järvikorte) ovat aliedustettuina, mikä saa muutoksen näyttämään todellista suuremmalta. 1970-luvun jälkeen on tilanne umpeenkasvun suhteen huomattavasti parantunut lukuunottamatta Keski-Päijännettä, jossa ilmeisesti jätevesikuormituksen vaikutukset näkyvät vielä lajistossa, huolimatta kuormituksen vähentymisestä.

Tulosten lopullinen tulkinta on menetelmällisistä eroista johtuen vaikeaa. Suominen (1997) kulki rannalla havaintoja tehdessään pitkäköön matkan, jolloin todennäköisyys tavata umpeenkasvun indikaattorilaji oli suurempi kuin vuonna 1996. Toisaalta vuoden 1996 tutkimuksessa oli mukana huomattavasti suurempi määrä linjoja kuin Suominen (1997) tutkimuksessa, mikä osaltaan kompensoi em. menetelmällistä eroa. Selvää on kuitenkin umpeenkasvun indikaattorilajien lisääntyminen vuodesta 1954 vuoteen 1974.

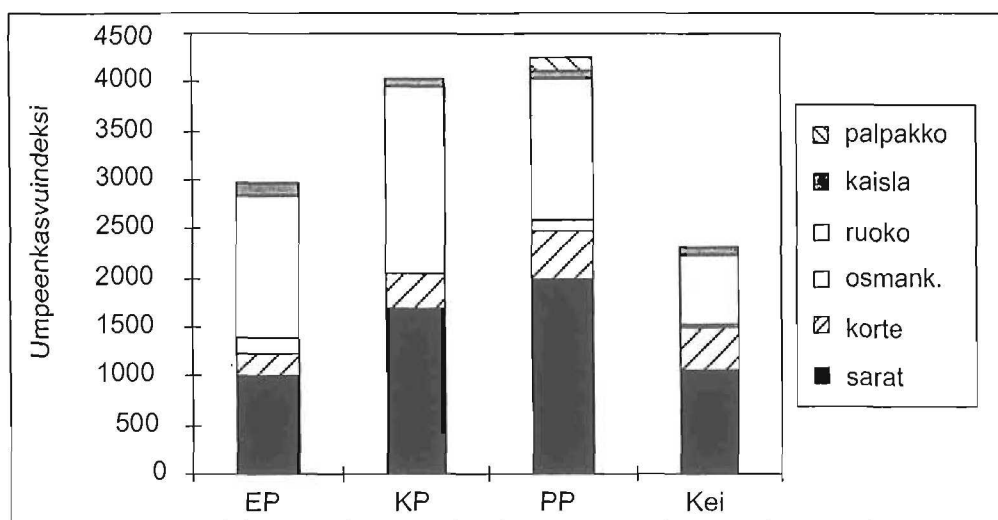
6.2.5 Umpeenkasvun arviointi kasvillisuusindeksin avulla

Kasvillisuuslinja-aineistosta laskettiin umpeenkasvun indikaattorilajien kasvillisuusindeksit summaamalla ilmentäjälajien indeksit yhteen. Umppeenkasvun ilmentäjälajien kasvillisuusindeksi (kuva 36) on suurin Pohjois-Päijänteellä. Keiteleellä indeksi on pienempi kuin Päijänteellä. Kun verrataan umpeenkasvun ilmentäjälajien keskinäistä suhdetta, voidaan havaita, että Pohjois-Päijänteellä ja Keiteleellä saroilla on suurin osuus. Etelä- ja Keski-Päijänteellä järviruo'on osuus on taas merkittävin. Keiteleellä ja Pohjois-Päijänteellä kortteen osuus on hieman suurempi kuin Päijänteen muilla osa-alueilla. Kaislan, osmankäämien ja haarapalpakon osuudet ovat kaikkialla lähes marginaalisia.

Erityislinjojen kasvillisuusaineistosta voitiin laskea umpeenkasvun ilmentäjälajien kasvillisuusindeksit erikseen jokaiselle rantavyöhykkeelle. Tämän perusteella voitiin nähdä, millä vyöhykkeellä umpeenkasvu on voimakkainta ja onko järven eri osien välillä eroa. Tarkastelu on huomattavasti täsmällisempi, koska umpeenkasvu on todennäköisesti voimakkaasti vyöhykkeisyyteen sitoutunutta. Vertaamalla umpeenkasvun ilmentäjälajien keskinäistä suhdetta voitiin nähdä, mitkä lajit ovat vallalla kullakin rantavyöhykkeellä ja onko valtalajien suhteen eroa Päijänteen eri osissa tai Päijänteen ja Keiteleen välillä (kuva 37). Eulitoraalilla umpeenkasvu oli selvästi voimakkainta Päijänteellä, mutta erot eri osa-alueiden välillä olivat melko vähäisiä. Molemmilla sublitoraaleilla Etelä-Päijänteen ruovikoiden suuri osuus nostaa hyvin merkitsevästi kasvillisuusindeksien arvoja. Kaikilla vyöhykkeillä on umpeenkasvun indikaattorien määrä selvästi vähäisempi Keiteleellä kuin Päijänteellä. Merkillepantavaa on myös sarojen suurempi osuus Pohjois-Päijänteen ylimmällä sublitoraalilla, joka viittaa umpeenkasvun voimakkaampaan etenemiseen. Merkittävin ilmiö on kuitenkin ruovikon erittäin suuri osuus Etelä-Päijänteellä.

6.2.6 Rantavyöhykkeen maatuminen

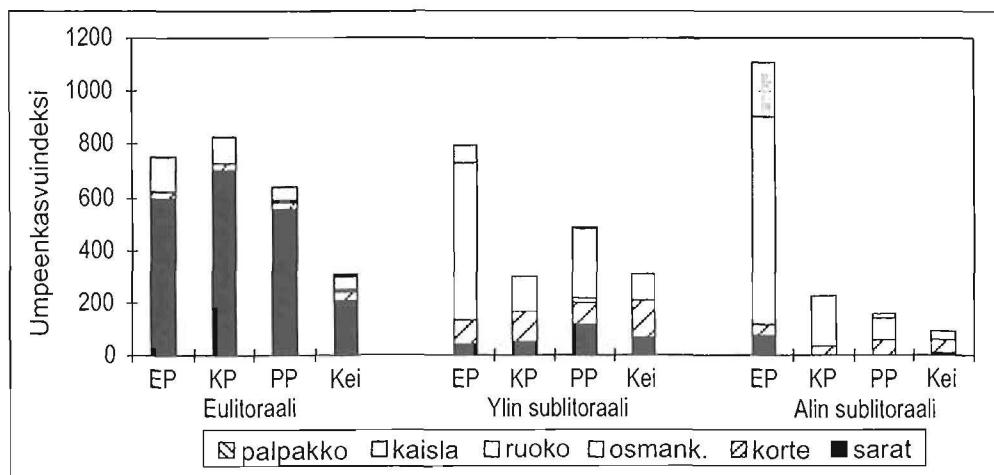
Rantavyöhykkeen maatumisen eräänä mittarina käytettiin tässä tutkimuksessa turpeen paksuutta ja osuutta eulitoraalin leveydestä.



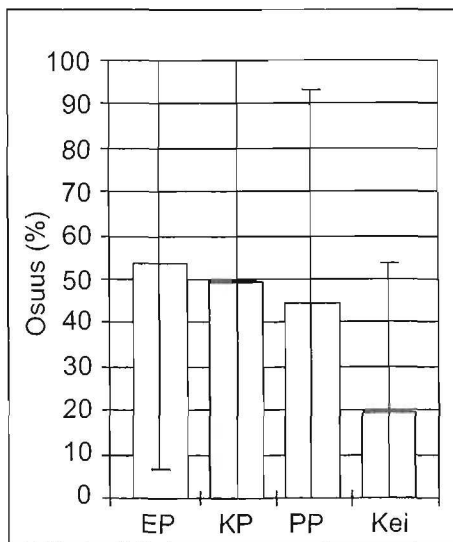
Kuva 36. Umppeenkasvun indikaattorilajien yhteenlasketut kasvillisuusindeksit Päijänteen eri osa-alueilla ja Keiteleellä normaalilajan kasvillisuusaineiston perusteella laskettuna. Peittävyys laskettu havaittujen peittävyyskeskiarvona.

Turpeen osuus eulitoraalin leveydestä vaihtelee vähän Päijänteen eri osissa (kuva 38). Ero ei ole tilastollisesti merkitsevä (liite 6). Turpeen hieman suurempi osuus Etelä-Päijänteellä johtunee osin havaintovirheestä, koska ko. vyöhyke paljastui loppukesällä kenttätutkimuksen edetessä Etelä-Päijänteelle. Myöskään turpeen paksuudessa ei ole Päijänteellä suuria eroja, vaikka turve on lievästi paksumpaa Keski- ja Pohjois-Päijänteellä (kuva 39).

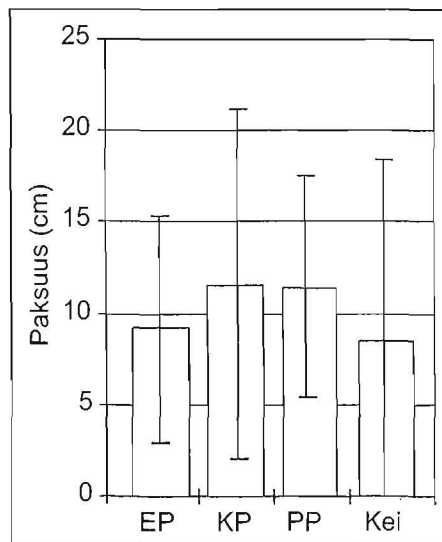
Keiteleellä turpeen osuus on vähäisempi ja se on ohuempaa kuin Päijänteellä eli rantojen maatumisaste on selvästi alhaisempi (kuvat 38 ja 39). Turpeen osuus on tilastollisesti merkitsevästi alhaisempi verrattuna Etelä- ja Keski-Päijänteeseen (liite 6). Turpeen paksuus on kuitenkin huomattavasti objektiivisempi muuttuja kuin turpeen osuus. Rantavyöhykkeen maatuminen näyttää olevan merkitsevästi voimakkaampaa Päijänteellä verrattuna Keiteleeseen. Päijänteellä eri osa-alueiden väliset erot ovat vähäisiä ja osin ristiriitaisia.



Kuva 37. Umpenkasvun indikaattorilajien kasvillisuusindeksi Päijänteen eri osa-alueilla ja Keiteleellä 1997 erityislinjojen aineiston perusteella laskettuna. Peittävyys laskettu havaittujen peittävyysien keskiarvona.



Kuva 38. Turpeen keskimääräinen osuus eulitoraalin leveydestä ja sen keskihajonta Päijänteen eri osa-alueilla ja Keiteleellä. Keskiarvossa mukana kaikki rannat.



Kuva 39. Turpeen keskimääräinen paksuus ja sen keskihajonta eulitoraalilla Päijänteen eri osa-alueilla ja Keiteleellä. Keskiarvossa mukana vain ne rannat, joilla turvetta esiintyi.

6.2.7 Pohjan laatu

Pohjan laatu on mitattu pehmeysarvona penetrometrillä jokaiselta erityislinjan ruudulta. Tulokset on ilmoitettu kolmen mittauksen keskiarvona. Eri osa-alueiden rantavyöhykkeitä on verrattu keskenään käyttäen muuttujana terävimmän piikin tunkeutumisvyvyttä. Alkuperäisaineistossa "kivikko"-merkinnällä varustettujen ruutujen tunkeutumisvyvytenä on käytetty nollaa.

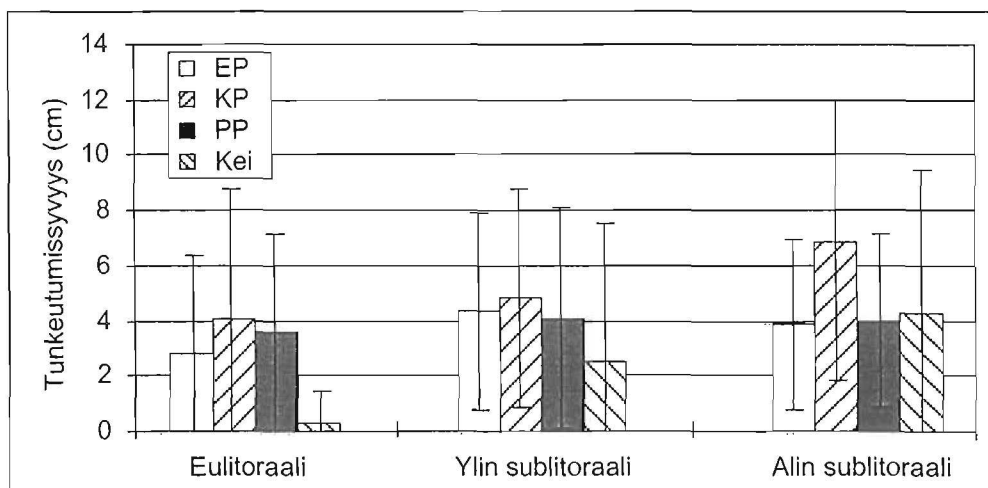
Tilastollinen vertailu tehtiin parittaisella t-testillä tai Mann-Whitneyn U-testillä riippuen siitä, noudattivatko aineistot normaalijakaumaa. Pohjan pehmeudessa löytyi eroja ainoastaan alaslublitoraalilla, jossa Keski-Päijänne osoittautui muita osa-alueita pehmeäpohjaisemmaksi (kuva 40). Etelä- ja Pohjois-Päijänteiden välillä ei ollut eroja. Myös turpeen paksuus (ks. kappale 6.2.6) antoi samansuuntaisia tuloksia.

Suuria eroja pohjan pehmeudessa ei ollut eri vyöhykkeiden ja osa-alueiden välillä. Keski-Päijänne erottui muita alueita pehmeämpänä ja siellä pohjan pehmeys kasvoi myös rantavyöhykkeellä syvemmälle siirryttäessä (kuva 41). Alaslublitoraalilla Keski-Päijänteiden pohjan pehmeys oli tilastollisesti merkitsevästi suurempi kuin Etelä- ja Pohjois-Päijänteellä ja Keiteleellä ($p = 0,0000$ ja $p = 0,001$) (liite 6). Keski-Päijänteiden pohjan pehmeys voi olla seurausta pitkään jatkuneesta ravinnekuormituksesta, joka on rehevöittänyt lahtia. Keski-Päijänteiden otos oli pienempi kuin Etelä- ja Pohjois-Päijänteiden, mikä voi jonkin verran vaikuttaa tulokseen. Myös hajonta tuloksissa oli suurta, mikä vaikeuttaa tulkintaa. Keiteleellä erityisesti rannan ylin vyöhyke oli huomattavasti kovapohjaisempi kuin Päijänteellä ($p=0,000$).

Kivikkoisten eulitoraalien osuus oli selvästi suurempi Keiteleellä kuin Päijänteellä (kuva 42), mikä tukee tulosta eulitoraalin kovuudesta. Myös ylin sublitoraali oli tilastollisesti merkitsevästi kovapohjaisempi kuin Päijänteellä ($p = 0,0000$) (liite 6). Syvemmälle mentäessä pohja kuitenkin pehmeni ja alimman sublitoraalin pehmeys oli jo samaa luokkaa kuin Etelä- ja Pohjois-Päijänteellä.

6.2.8 Yhteenveto

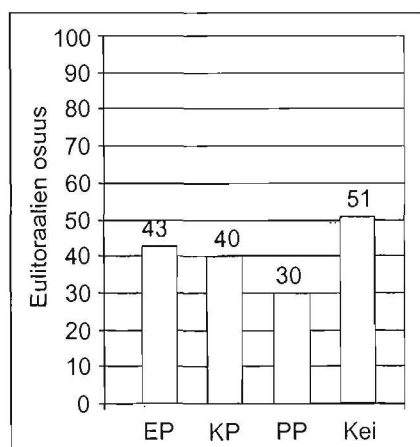
Tutkimuksen lähtöteoriassa oletettiin, että kevättulvan puuttuminen jättää edellisvuotisen kuolleen kasviaineksen rantavyöhykkeelle aiheuttaen siten rehevöitymistä. Säännöstelyn epäsuoria vaikutuksia voitiinkin arvioida vain vertaamalla



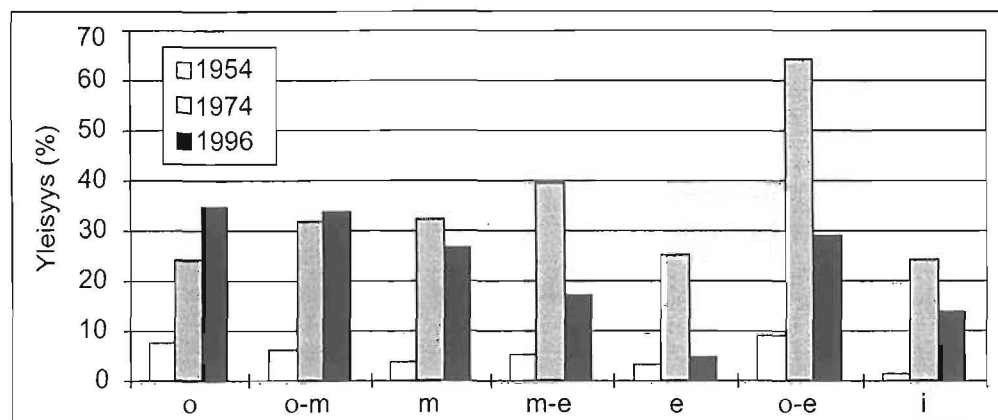
Kuva 40. Pohjan pehmeyttä kuvaava penetrometrin terävimmän piikin tunkeutumisvyvyys keskimäärin sekä keskihajonta Päijänteiden eri osa-alueilla ja Keiteleellä 1997 erityislinjojen aineiston perusteella laskettuna.

umpeenkasvun voimakkuutta suojaisissa lahdissa. Kohteena oli Päijänteellä 101 ja Keiteleellä 59 lahteja. Kasvittumisasteessa ei juurikaan ole eroa järvien välillä, mutta kasvillisuuden määrää kuvaava kasvillisuusindeksi on huomattavasti suurempi Päijänteellä. Ilmaversoisten tiheydet olivat Päijänteen pohjoisosissa muita osia suurempia. Keiteleellä tiheydet ovat paikoin jopa suurempia johtuen ilmeisesti Päijänteellä esiintyneen kasvua inhihoivan kuolleen kasviaineksen vaikutuksesta. Ilmaversoisten versot ovat sen sijaan selvästi pidempiä Päijänteellä, joka johtunee pääosin suuremmista ravinnevaroista. Ruovikon keskimääräinen tiheys, korkeus sekä yleisyys olivat selvästi suurempia Päijänteellä verrattuna Keiteleeseen.

Umpeenkasvun indikaattorilajien keskimääräistä yleisyyttä tarkasteltaessa havaitaan sen pienentyneen erityisesti Pohjois-Päijänteellä siirryttäessä vuodesta 1974 vuoteen 1996. Keiteleellä indikaattoreiden määrä on kuitenkin selvästi vähäisempi. Kasvillisuusindeksin (kasvillisuuden suhteellinen määrä) avulla arvioituna umpeenkasvu on Etelä-Päijänteellä selvästi vähäisempää kuin Pohjois-Päijänteellä, jossa etenkin sarojen osuus on suuri. Erityisesti eulitoraalin umpeenkasvuindeksiä tarkasteltaessa havaitaan umpeenkasvun olevan huomattavasti voimakkaampaa Päijänteellä kuin Keiteleellä. Toisaalta Etelä-Päijänteellä ruovikot olivat hyvin yleisiä ja runsaslukuisia. Vyöhykkeisyyden huomioiminen antaa Päijänteen eri osa-alueiden keskinäisistä eroista huomattavan erilaisen kuvan verrattuna ei-vyöhyketarkasteluun. Ero johtuu miltei tyystin ruo'on ja osin myös kaislan suhteellisen suuresta osuudesta eteläisen Päijänteen rantavyöhykkeellä. Nämä kaksi voimakasta kilpailijaa ovat pystyneet laajentamaan esiintymisaluettaan erittäin merkittävästi. Päijänteelle on vesistön keskusaltaana hyvin tyypillistä tulvan



Kuva 41. Kivikon osuus (%) koko eulitoraalin pinta-alasta Päijänteen eri osa-alueilla ja Keiteleellä.



Kuva 42. Eri trofialuokkiin kuuluvien lajien keskimääräinen yleisyys eri vuosina Päijänteellä. o = oligotrofantit, o-m = oligo-mesotrofantit, m = mesotrofantit, m-e = meso-eutrofantit, e = eutrofantit, o-e = oligo-eutrofantit, i = indifferentit.

Päijänteelle on vesistön keskusaltaana hyvin tyypillistä tulvan myöhäinen, usein myös kasvukaudelle osuva nousu, jota säännöstely on entisestään myöhästyttänyt. Keiteleelle on taas tyypillistä suhteellisen voimakas kevättulva ilman kasvukauden aikaisia tulvia. Ruoko hyötynee kevättulvan viivästyemisestä, kun taas esim. korte sietää hyvin kevättulvaa, mutta ei siedä tulvaa kasvukauden aikana.

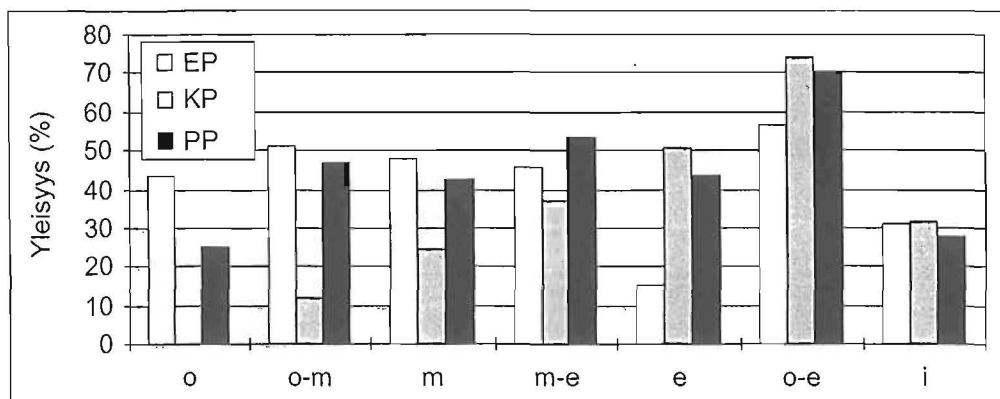
Turpeen osuus vedenkorkeuden vaihteluvyöhykkeen kokonaisalasta on selvästi suurempi Päijänteellä ja lisäksi turve on hieman paksumpaa. Pohjan laatu poikkeaa merkitsevästi Keiteleellä, jossa pohja on huomattavasti kovempi ja kivikoisempi verrattuna Päijänteeseen.

6.3 Veden rehevöitymisen vaikutus kasvillisuuteen

Koko järven lajistoryhmien keskimääräisiä yleisyyksiä tarkasteltaessa havaitaan miltei kaikkien ryhmien yleisyyksien olleen pienimmillään vuonna 1954 ja suurimmillaan vuonna 1974, joten rantojen monimuotoisuus näyttäisi olleen suurinta 1970-luvulla (kuva 42). Tämän jälkeen yleisyys on vähentynyt kaikissa trofiaryhmissä, oligo-mesotrofeja lukuunottamatta, muttei kuitenkaan vuoden 1954 tasolle saakka. Yleisyyksien kehitys kertoo siitä, että rantojen ja lahtien rehevöitymishistoria on samansuuntainen kuin jo aiemmin on ulappavesillä todettu: rehevöitymistä indikoivien lajien esiintyminen oli yleisintä 1970-luvulla, mutta viime vuosina tilanne on parantunut.

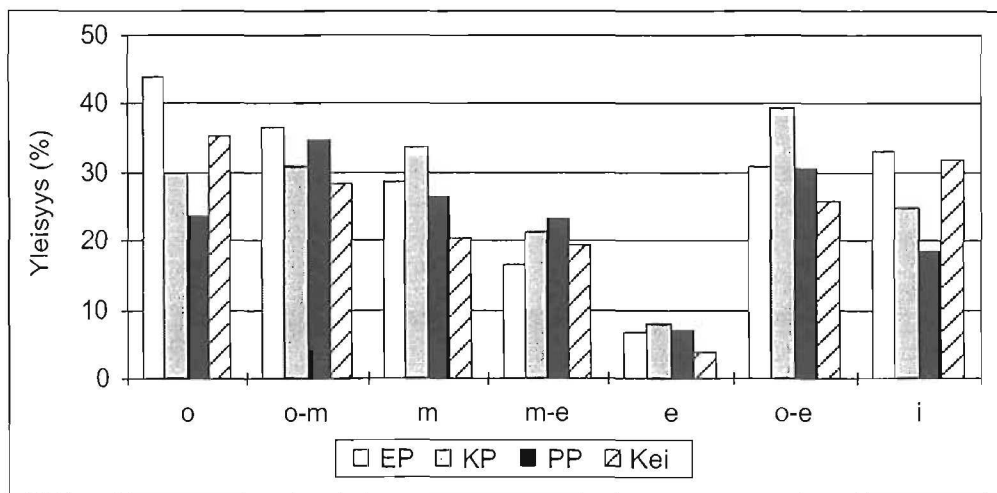
Osa-aluekohtaisessa tarkastelussa vuonna 1974 Keski-Päijänne oli selkeästi rehevin: oligotrofiset lajit puuttuivat kokonaan lajistosta ja eutrofisten lajien yleisyys oli moninkertainen Etelä-Päijänteeseen verrattuna (kuva 43). Vuonna 1996 lajisto on muuttunut tasaisemmaksi (kuva 44). Selkein muutos on tapahtunut Keski-Päijänteellä, jonka indikaattorilajien jakautuma on nykyisin lähes sama kuin karuna pidetyllä Etelä-Päijänteellä. Pohjois-Päijänne näyttäisi nykytilassa rehevimältä. Keski-Päijänteen kehitys voidaan yhdistää yhdyskuntien ja teollisuuden jätevesikuormitukseen ja sen huomattavaan vähenemiseen viime vuosina. Eutrofanttien pysyminen Etelä-Päijänteellä saattaa ilmentää veden laadun pitkäaikaista muuttumista.

Lisäksi voitiin huomata, että osa-alueiden väliset erot ovat tasoittuneet vuoteen 1996 tultaessa (kuvat 43 ja 44). Nämä seikat viittaisivat, kuten edellä todettiin siihen, että rantojen ja lahtien tila on alkanut parantua samalla tavalla kuin ulappavesillä on jo aiemmin havaittu.

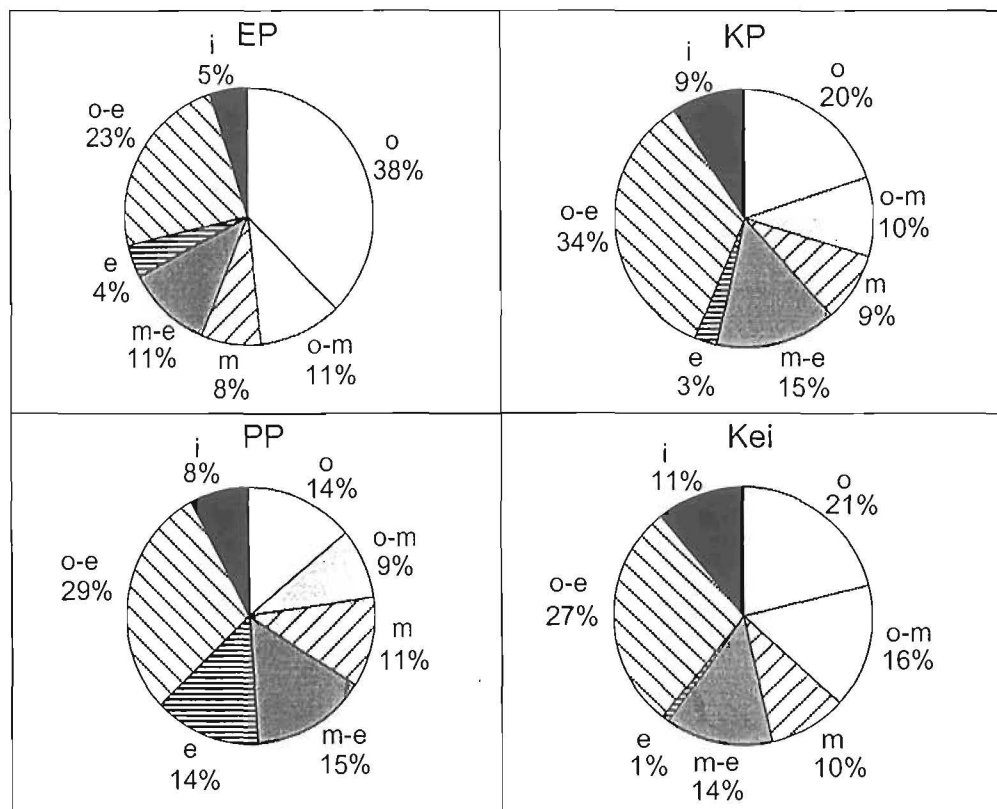


Kuva 43. Eri trofialuokkiin kuuluvien lajien keskimääräiset yleisyydet Päijänteen eri osa-alueilla vuonna 1974. o = oligotrofantit, o-m = oligo-mesotrofantit, m = mesotrofantit, m-e = meso-eutrofantit, e = eutrofantit, o-e = oligo-eutrofantit, i = indifferentit.

Linjakohtaisena keskiarvona lasketun trofiaindeksin vertailu kuvaa keskimääräistä yleisyyttä paremmin tutkimusalueiden eroavaisuuksia (kuva 45). Ero Etelä- ja Keski-Päijänteen välillä johtuu lähinnä eroista oligotrofiaa ilmentävien lajien yleisyydessä. Keitele näyttää kuvaavan melko hyvin Keski-Päijännettä, joten se ainakin lajistollisesti soveltuu hyvin Päijänteen vertailujärveksi.



Kuva 44. Eri trofialuokkiin kuuluvien lajien keskimääräiset yleisyydet Päijänteen eri osa-alueilla ja Keiteleellä vuonna 1996-97. o = oligotrofantit, o-m = oligo-mesotrofantit, m = mesotrofantit, m-e = meso-eutrofantit, e = eutrofantit, o-e = oligo-eutrofantit, i = indifferentit.



Kuva 45. Kasvillisuuden jakautuminen rehevyyssluokkiin Etelä- (EP), Keski- (KP) ja Pohjois- (PP) Päijänteellä sekä Keiteleellä (Kei). o = oligotrofantit, o-m = oligo-mesotrofantit, m = mesotrofantit, m-e = meso-eutrofantit, e = eutrofantit, o-e = oligo-eutrofantit, i = indifferentit. Menetelmänä trofiaindeksien vertailu.

Koko kasvilajistosta lasketun kasvillisuusindeksin on todettu kasvavan eutrofian lisääntyessä (Ilmavirta & Toivonen 1986). Osa-aluekohtaiset kasvillisuusindeksit saatiin summaamalla jokaisen osa-alueen koko lajiston indeksit. Koko lajiston kasvillisuusindeksi oli suurin Keski-Päijänteellä, Etelä- ja Pohjois-Päijänteiden indeksit olivat jonkin verran pienempiä (kuva 46). Tämän mukaan Keski-Päijänne olisi Päijänteiden rehevintä aluetta. Keiteleen kasvillisuusindeksi on huomattavasti alhaisempi kuin Päijänteellä, mikä ilmentää Keiteleen olevan Päijännettä karumpi.

Vyöhykkeittäin tarkasteltaessa havaitaan ainoastaan eulitoraalin kasvillisuusindeksin olevan suurempi Keiteleessä (kuva 47). Etelä-Päijänteiden alimman sublitoraalin kasvillisuusindeksiä nostaa ruovikoiden suuri määrä.

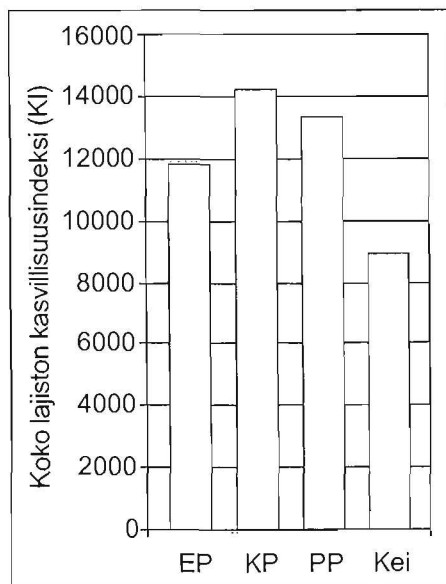
Muita veden rehevyytensä kuvaavia muuttujia on selostettu kasvillisuuteen vaikuttavista tekijöistä erottelevassa kappaleessa 8.7.

6.4 Maankohoamisen vaikutukset kasvistoon

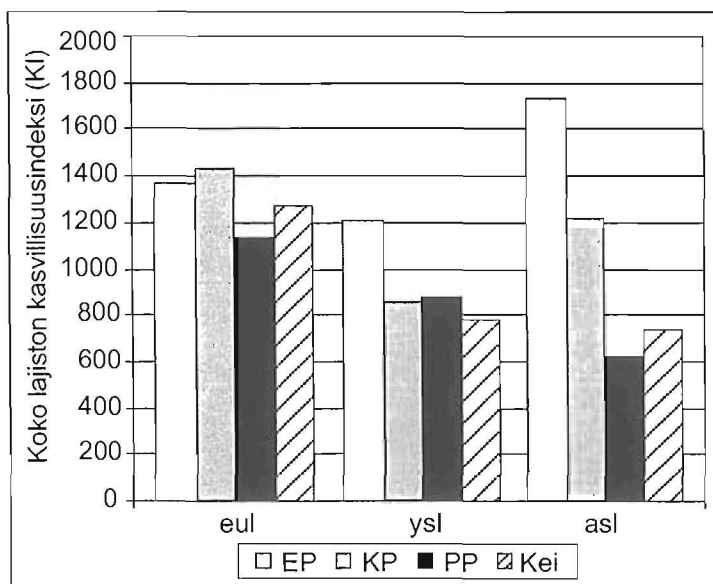
Maankohoamisnopeus ei korreloi rannan kasvittumisasteen tai kasvillisuuden peittävyysasteen kanssa lukuunottamatta tulvavyöhykkeen sammalten peittävyysastea: maankohoamisnopeuden kasvaessa sammalten peittävyys vähenee ($p=0,006$). Maankohoamisnopeus korreloi suuntaa-antavasti umpeenkasvuindikaattoreiden kanssa kuten aikaisemmissa kappaleissa on kuvattu.

Kasvupaikan tuottavuutta indikoivien lajiryhmien suhde maankohoamisnopeuteen oli selvä. Eutrofisten lajien rehevyysindeksi kasvoi maankohoamisnopeuden kasvaessa ($p=0,048$), samoin meso-eutrofisten ($p=0,039$) ja mesotrofisten ($p=0,001$). Oligotrofisten lajien rehevyysindeksi laski maankohoamisnopeuden kasvaessa ($p=0,020$). Oligo-mesotrofisten, oligo-eutrofisten ja indifferenttien lajien korrelaatio maankohoamisnopeuden kanssa ei ollut merkittävä ($p=0,494$; $0,077$; $0,108$).

Pääosa riippuvuussuhteesta maankohoamisnopeuden ja rehevöitymismuutosten välillä johtuu yksinkertaisesti myös veden laadun rehevöitymisestä siirryttäessä kohti pohjoista (kts. 8.7). Maankohoamisen vaikutusten erottaminen rehevöitymisestä onkin käytännössä mahdotonta.



Kuva 46. Koko kasvilajiston kasvillisuusindeksi Päijänteiden osa-alueilla ja Keiteleellä. Lähde: normaalin kasvilajiston kasvillisuusaineisto, peittävyys laskettu havaittujen peittävyysasteiden keskiarvona.



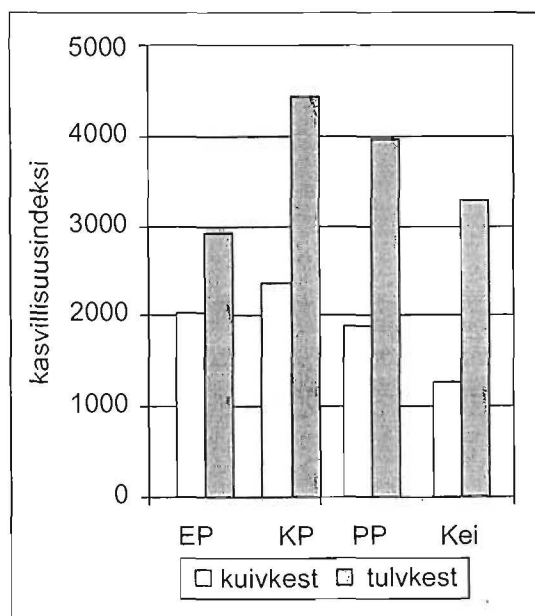
Kuva 47. Kaikkien lajien yhteenlasketut kasvillisuusindeksit vyöhykkeittäin Päijänteiden eri osa-alueilla ja Keiteleellä (eul=eulitoraali, ysl=ylin sublitoraali, asl=alin sublitoraali). Lähde: erityislinjan kasvillisuusaineisto, peittävyys laskettu havaittujen peittävyysasteiden keskiarvona.

6.5 Vedenkorkeuden vaihtelun suorat vaikutukset kasvistoon

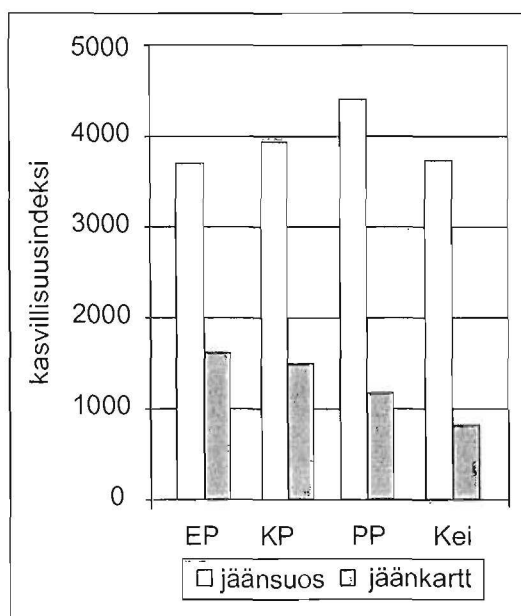
6.5.1 Vedenkorkeuden säännöstelyn indikaattorit

Kasvilajit on luokiteltu tulvaa kestäviin maakasveihin ja kuivuutta kestäviin vesikasveihin liitteen 3 mukaisesti. Lajien suhtautuminen eri jäänpainumisvyöhykeisiin on esitetty Hellstenin ym. (1989) mukaisesti. Lajien yleisyydet on laskettu vuosina 1954 ja 1974 tehtyjen havaintojen perusteella koko järven ja vuonna 1996 jokaisen osa-alueen keskiarvona. Lajien yleisyyden muuttumista eri vuosien välillä testattiin parittaisella t-testillä (toistuva mittausta samasta paikasta) tapauksissa, joissa aineisto oli normaalisti jakautunut ja Mann-Whitneyn U-testillä silloin kun aineisto ei noudattanut normaalijakaumaa. Indikaattorilajien esiintymistä eri osa-alueilla on kuvattu kasvillisuusindeksin avulla. Eri osa-alueiden välillä ei ollut huomattavaa eroa säännöstelyyn reagoivien lajien kasvillisuusindekseissä (kuva 48-49). Tulvaa kestäviä oli jonkin verran enemmän Päijänteen pohjoisosissa ja Keiteleellä. Kuivumista kestäviä taas oli vähiten Keiteleellä. Jäätyvää vyöhykettä karttavia lajeja on vähiten Keiteleellä, mutta niin on myös jäätyvällä vyöhykkeellä menestyjiä. Erot eivät ole tilastollisesti merkitseviä.

Tarkasteltaessa linjakohtaisesti laskettua säännöstelyindeksiä havaitaan suunnilleen samankaltainen jakauma kuin kasvillisuusindeksissä (kuva 50). Kuivuutta kestävien vesikasvien jakaumassa on tilastollisesti merkitsevä ero jakaumissa ($p=0.0067$) ja jäätyvää vyöhykettä karttavissa lajeissa suuntaa-antava ero ($p=0.0324$). Keiteleellä ovat arvot selvästi kaikkein pienimpiä. Muiden indikaattoreiden erot olivat vähäisiä. Verrattaessa yleisyyksien muuttumista eri vuosien välillä havaitaan vuoden 1974 olleen selkeästi runsaskasvustoisin - ainoastaan routivaa ja jääpau-



Kuva 48. Kuivumista kestävien vesikasvien (kuivkest) ja tulvaa kestävien maakasvien (tulvkest) kasvillisuusindeksit Päijänteellä ja Keiteleellä v. 1996-1997. Lähde normaaliinjan kasvillisuusaineisto, peittävyys laskettu havaittujen peittävyyskeskiarvona.



Kuva 49. Jäätyvällä rantavyöhykkeellä menestyvien lajien (jäänsuos) ja jäätyvää tai routivaa vyöhykettä karttavien lajien (jäänkartt) kasvillisuusindeksit Päijänteellä ja Keiteleellä 1996-1997. Lähde normaaliinjan kasvillisuusaineisto, peittävyys laskettu havaittujen peittävyyskeskiarvona.

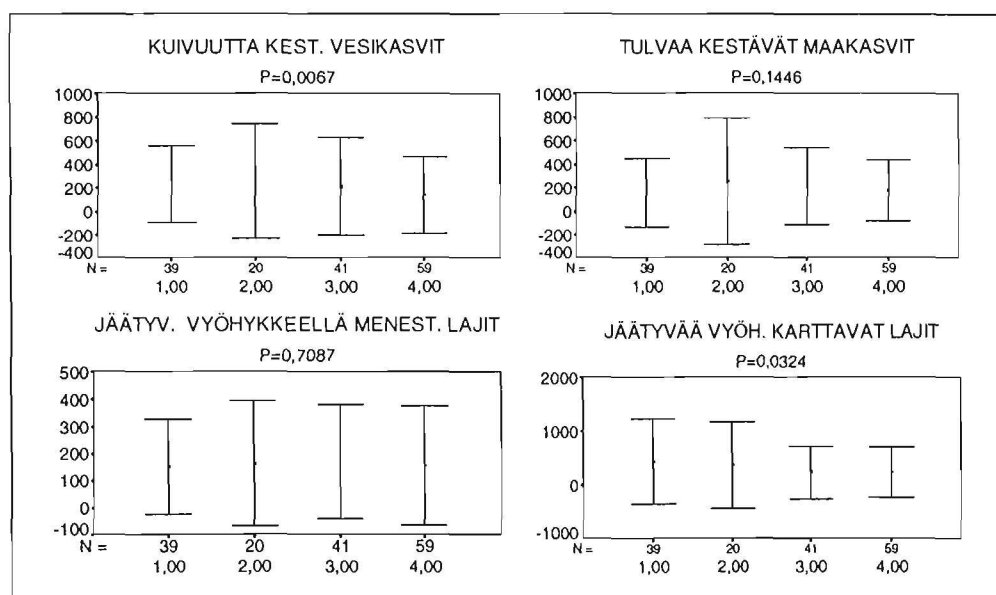
mavyöhykettä karttavat lajit olivat yleisimpiä vuonna 1996 (taulukko 12). Suuri osa muutoksessa voi johtua puhtaasti menetelmällisistä eroista ja osin myös vuoden 1974 yleisestä rehevyydestä.

6.5.2 Kasvillisuuden kehitys strategia-analyysin perusteella

Vuodesta 1954 vuoteen 1996 tapahtuneet muutokset kasvillisuuden strategiatyyppien osuuksissa ovat selkeitä, mutta eivät suuria. Kilpailustrategistien osuus on jonkin verran kasvanut, aluksi stressistrategistien, myöhemmin häiriöstrategistien kustannuksella (kuva 51).

Osa-aluekohtaisessa tarkastelussa Keski-Päijänne korostui vuonna 1974 suuremman kilpailustrategistiosuutensa vuoksi eli rehevöityminen oli voimakkaasti lisääntynyt. Vuoteen 1996 tultaessa osa-alueiden väliset erot ovat tasoittuneet, kun Keski-Päijänteellä kilpailijat ovat hieman vähentyneet ja muualla lisääntyneet.

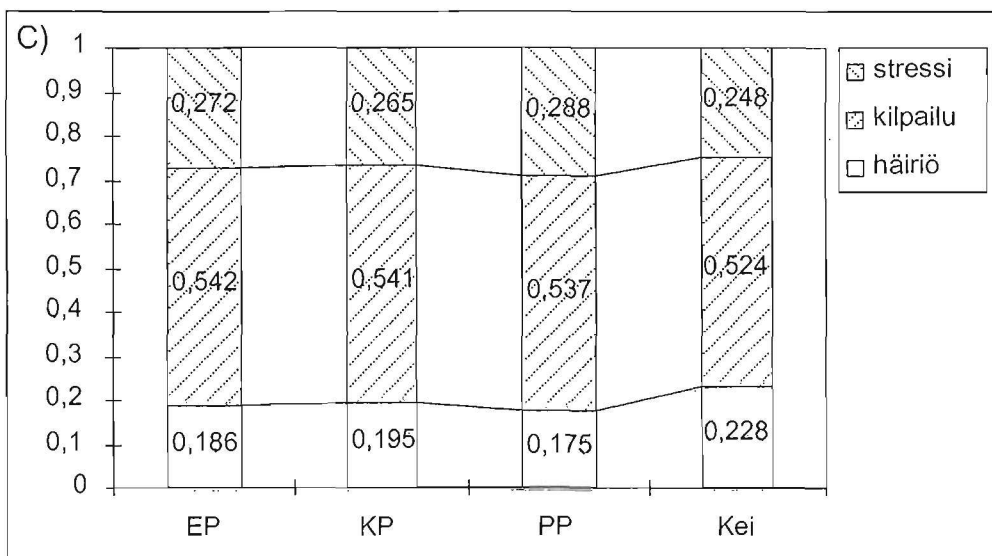
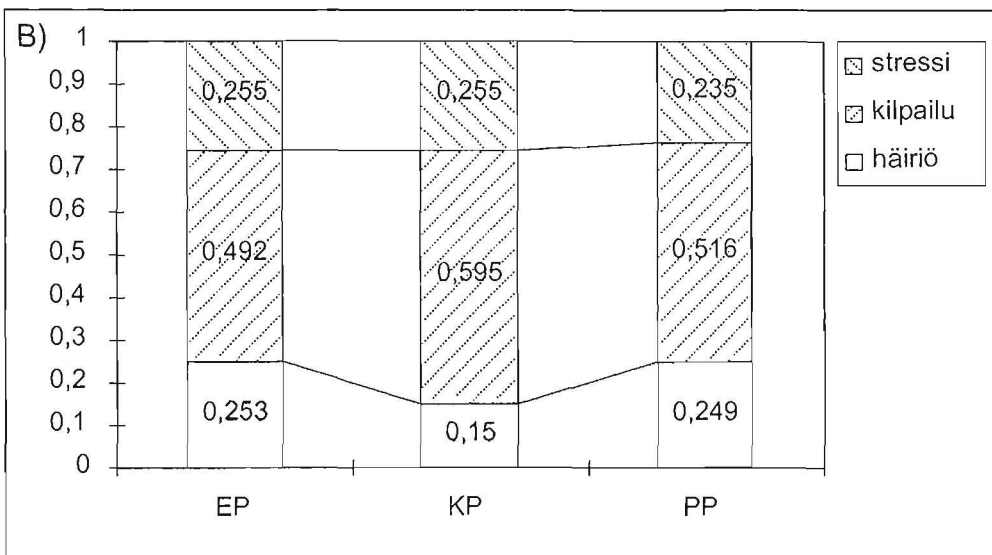
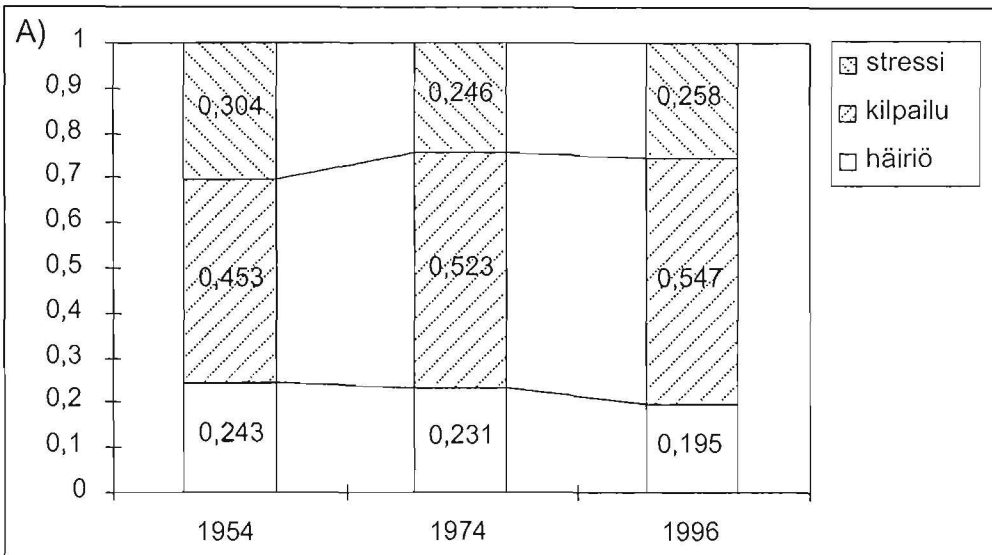
Vallitsevana strategiana on koko tarkastelujakson ollut kilpailu (noin 50 %), mikä merkitsee rantojen sukkession olevan edelleen sangen nopeaa ja habitaattien olevan suhteellisen tuottavia. Kilpailun lisääntyminen vuoden 1954 jälkeen osoittaa



Kuva 50. Linjakohtaisina keskiarvoina laskettujen säännöstelyindikaattorilajien kasvillisuusindeksien jakaumat ja niiden tilastollinen eroavuus Päijänteen osa-alueiden (1=EP, 2=KP ja 3=PP) sekä Keiteleeseen (4) välillä.

Taulukko 12. Säännöstelyn indikaattorilajien yleisyyksien tilastollinen vertailu Päijänteellä vuosina 1954-74 ja 1974-96 sekä kasvillisuusindeksien tilastollinen vertailu Etelä-, Keski- ja Pohjois-Päijänteellä vuonna 1996. Tilastollisesti merkittävät erot merkitty lihavoinnilla.

| | Vertailupari ja muutoksen suunta | P |
|---|----------------------------------|--------------|
| Tulvaa kestävä maakasvit koko järvi | 1954<1974 | 0,001 |
| | 1974>96 | 0,473 |
| Kuivuutta kestävä vesikasvit koko järvi | 1954<1974 | 0,008 |
| | 1974>96 | 0,051 |
| Routivaa ja jäätyvää vyöhykettä karttavat vesikasvit koko järvi | 1954<74 | 0,476 |
| | 1974<96 | 0,873 |
| Routivalla ja jäänpainumavyöhykkeellä viihtyvät vesikasvit koko järvi | 1954<1974 | 0,000 |
| | 1974>1996 | 0,004 |



Kuva 51. Kasvillisuuden strategiaindeksit eri havaintovuosina Pääjärven alueella (A), vuonna 1974 Pääjärven alueella (B) ja tutkimusvuosina Pääjärven eri osissa ja Keiteleellä (C).

selkeästi, että ylimpien vedenkorkeuksien lasku kesällä on vapauttanut rantaa kasvittumiselle, mutta myös habitaattien tuottavuuden lisääntyminen on voinut lisätä kilpailua. Rehevöitymistutkimuksissa (ks. 6.3) rantojen tuottavuus näyttää kuitenkin vähentyneen vuoteen 1996 tultaessa, kun taas kilpailustrategistien määrä on pysynyt nousussa. Tämä tukee käsitystä säännöstelyn merkityksestä rantojen kasvittumisessa. Häiriöstrategistien määrän vähäisyys ja jopa hienoinen lasku kertoo, että säännöstely on vähentänyt häiriötä rannoilla (tulvat) ja että esimerkiksi jääeroosio ei ole lisääntynyt merkittävästi säännöstelyn seurauksena.

Keiteleellä strategiajakauma on hyvin erikoinen - periaatteessa luonnontilaisessa järvessä tulisi stressiä suosivien määrä olla hyvin suuri (Alasaarela ym. 1993). Keiteleellä häiriön osuus on erittäin suuri eli rantavyöhykkeellä kasvaa merkittäviä määriä pienikokoista nopeasti levittyä lajistoa. Ilmeisesti tilanteeseen on vaikuttanut ainakin kaksi tekijää. Vuonna 1995 vedenkorkeus oli poikkeuksellinen korkea ja rantavyöhykkeellä käynnistyi selvä eroosio, joka lisäsi häiriöstrategistien osuutta lajistosta. Toisaalta vuonna 1997 vedenkorkeus oli taas poikkeuksellisen alhainen, jolloin myös kuivumisriskin lisääntyminen voi vaikuttaa tilanteeseen.

6.5.3 Ilmaversoiskasvillisuuden riippuvuus vedenkorkeuden vaihtelusta

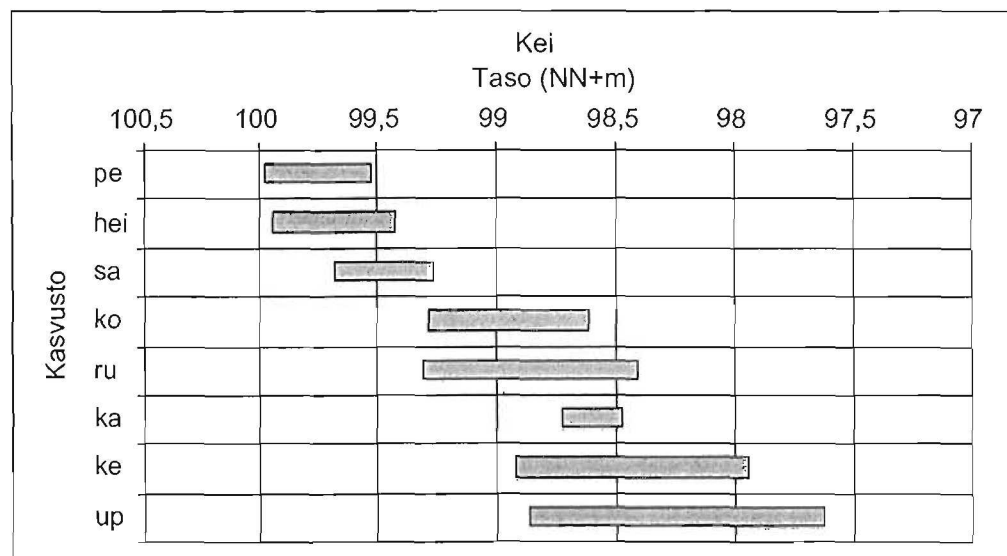
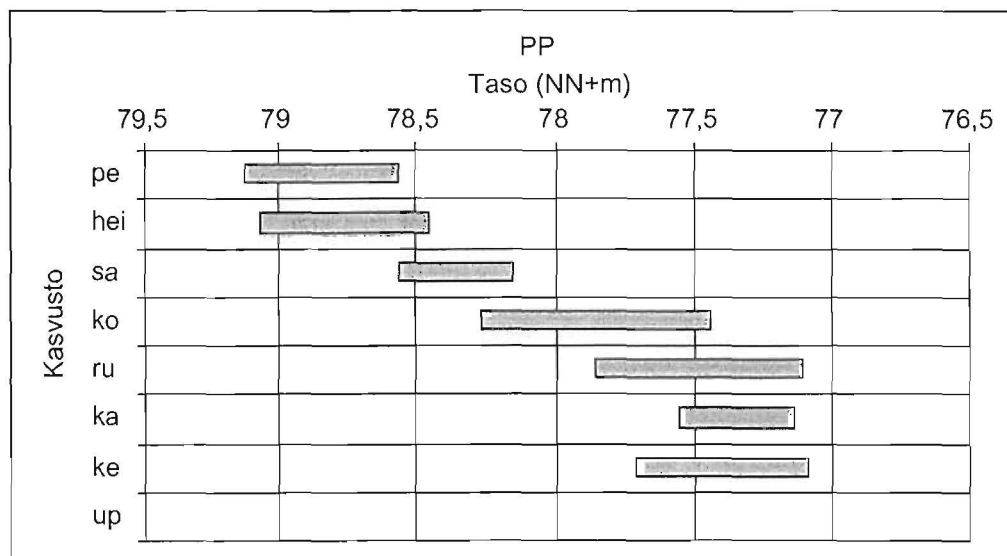
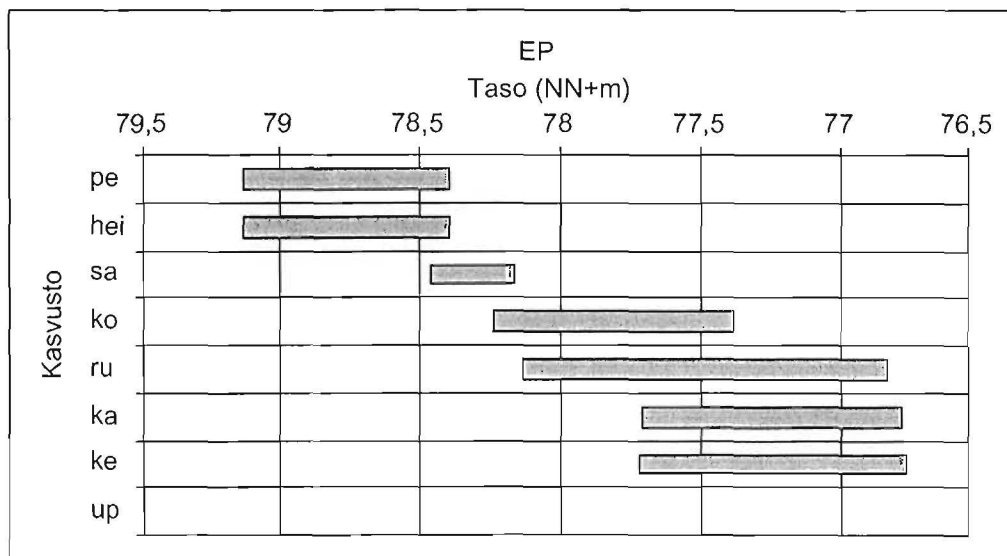
6.5.3.1 Pääkasvustojen yleisjakauma

Ilmaversoiskasvillisuuden esiintymisalue riippuu suurelta osin veden syvyydestä ja noudattaa siten päällisin puolin vedenkorkeuden vaihteluvyöhykkeen rajoja (kts. kappale 5). Erityisesti saraikko keskittyy luonnontilaisessa järvessä melko tarkasti eulitoraalille (Hellsten ym. 1997). Muista lajiryhmistä myös kortteikon esiintymisala on karkeasti ennustettavissa. Järvikorte kuivumisesta kärsivänä lajina viihtyy parhaiten sublitoraalin ylärajan (75 % pysyvyys) alapuolella. Järviruo'on pitää myös yhteyttääkseen saada version kärki pinnan yläpuolelle, ennenkuin juuristossa oleva ravinto on käytetty loppuun (kts. kappale 8).

Maastomittausten perusteella kuvaan 52 on koottu eri tyyppikasvustojen esiintymisalue. Etelä-Päijänteellä pensaikko rajautuu melko jyrkästi saraikkoon, joka saattaa ilmentää eteläosan "hukkuva" luonnetta. Keiteleessä ja myös Päijänteen pohjoisosissa vyöhykkeet seuraavat toisiaan melko loogisesti. Suurin ero Päijänteen eri osien välillä on ruovikon ulottuminen huomattavasti syvemmälle etelässä. Päijänteellä uposlehtisten esiintymisaluetta ei erikseen määritetty.

6.5.3.2 Saraikot

Saraikko noudattaa Keiteleessä selvästi eulitoraalin rajoja. Eulitoraali rajautuu välille NN+ 99,74-99,3 m, kun taas saraikko kasvaa vyöhykkeellä NN+ 99,68- 99,26 m, joten ero on yläosassa +6 cm ja alaosassa +4 cm (kuva 53). Tarkasteltaessa Päijänteen saraikon rajoja keskiarvona NN+ 78,51-78,16 m ja eulitoraalia NN+ 78,69 -78,29 m havaitaan yläosan olevan peräti +18 cm ja alaosan +14 cm saraikon todellisen kasvualueen yläpuolella. Ilmiö johtuu todennäköisesti Päijänteen myöhästyneestä tulvan noususta, jolloin laskennallinen eulitoraali jää selvästi todellisen esiintymistason yläpuolelle. Päijänteellä todettiin alkukesän (keskimääräisestä jäänlähtöpäivästä kesäkuun puoliväliin) maksimivedenkorkeuden ja loppukesän (kesäkuun puolivälistä syyskuun loppuun) minimivedenkorkeuden vastaavan parhaiten saraikon esiintymistasoa (kuva 53).



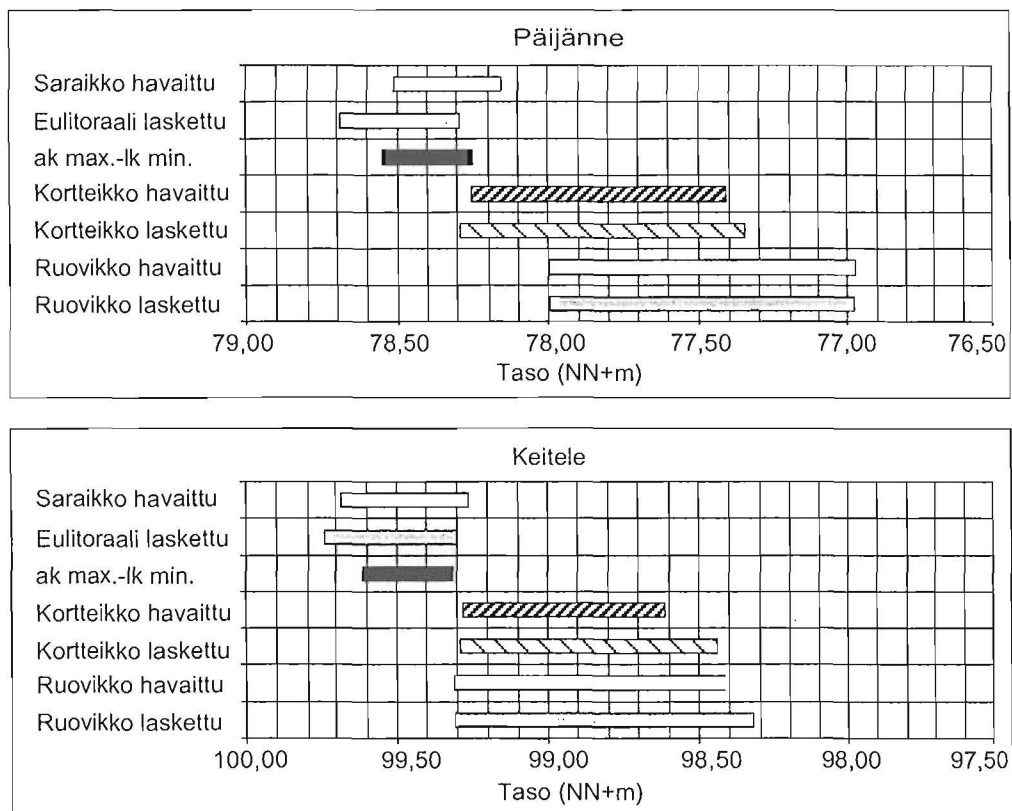
Kuva 52. Eräiden tyyppikasvustojen keskimääräinen ylä- ja alaraja Etelä- ja Pohjois-Päijänteellä ja Keiteleellä. pe = pensaat, hei = heinäkavillisuus, sa = saraikko, ko = kortteikko, ru = ruovikko, ka = kaislikko, ke = kelluslehtiset, up = uposlehtiset.

6.5.3.3 Kortteikot

Keiteleen kortteikot esiintyivät eulitoraalin alapuolella sentin tarkkuudella ja Päijänteelläkin 2-3 sentin tarkkuudella, koska kortteikot eivät saraikon tavoin kärsi kevättulvan myöhästymisestä (kuva 53). Alaraja määräytyy avovesikauden keskiveden perusteella ollen Keiteleellä 0,83 m ja Päijänteellä 1 m sen alapuolella. Alaraja määräytyy juurakkoon syksyllä varastoituneiden ravinteiden määrän perusteella, koska keväällä korte joutuu kasvamaan niiden turvin pinnalle asti. Kuvassa 53 on käytetty laskennallisen alarajan määrääjänä Päijänteellä havaittua riippuvuussuhdetta.

6.5.3.4 Ruovikot

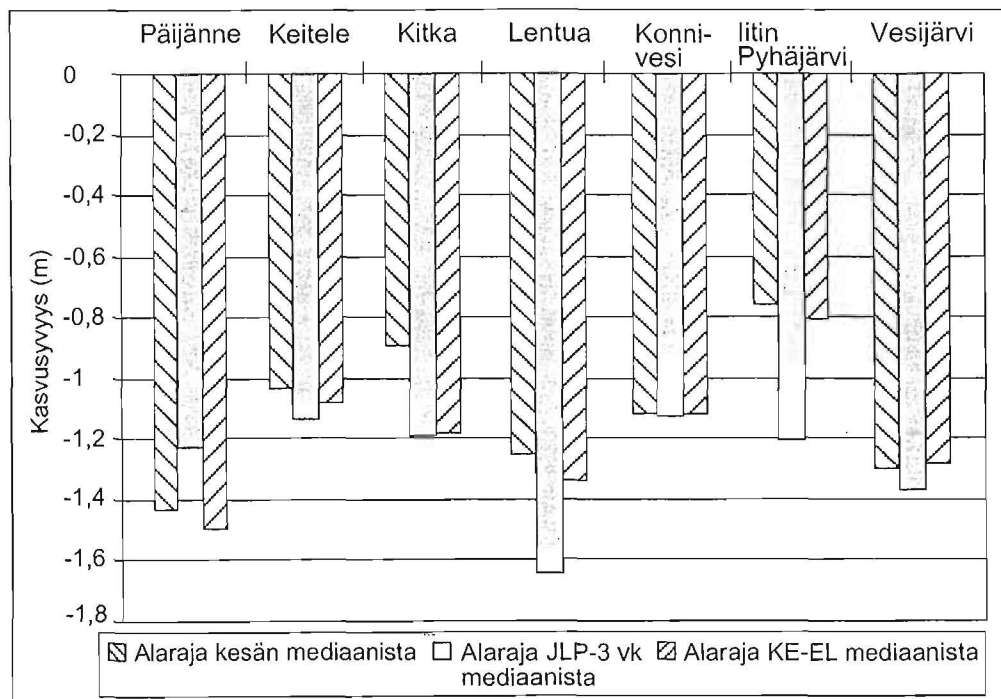
Ruovikoiden esiintymiseen vaikuttavia tekijöitä on tarkasteltu tässä tutkimuksessa yksityiskohtaisesti kappaleessa 8. Vedenkorkeuden vaihtelu näyttää kuitenkin merkittävästi vaikuttavan rantaruovikoiden esiintymiseen. Kirjallisuusviitteissä painotettiin erityisesti alkukesän vedenkorkeuden merkitystä, joten erityisesti Päijänteen kevättulvaa leikkaavan säännöstelyn vaikutusten arvioimiseksi tarvittiin selkeää riippuvuussuhdetta vedenkorkeuden vaihtelun ja ruovikon esiintymisen välillä.



Kuva 53. Saraikon, kortteikon ja ruovikon havaittuja ja laskettuja esiintymistasoja Päijänteellä (yläkuva) ja Keiteleessä (alakuva). Havaitut perustuvat kesien 1996-1997 mittauksiin, lasketut vuoden 1971-1995 vedenkorkeushavaintoihin. Eulitoraali = avovesikauden (8.5.-30.9) 10% ja 75% pysyvyyden välinen alue. Ak max = jäänlähtöpäivän ja 11.6 välisen ajan vedenkorkeuden vuosittaisten maksimien keskiarvo, Lk min = 21.6.-1.10 välisen ajan vedenkorkeuden vuosittaisten minimien keskiarvo. Kortteikko laskettu = avovesikauden (8.5.-30.9) 75% pysyvyyden tason ja 50% pysyvyyden tason yhtä metriä syvemmällä olevan tason välinen alue. Ruovikko laskettu = havaitun ylärajan ja jäänlähtöpäivää seuraavan neljän viikon jakson keskivettä 1,22 metriä syvemmällä olevan tason välinen alue.

Ruovikon alarajan arvioimiseksi määritettiin alarajan suhde erilaisiin vedenkorkeustasoihin sekä tämän tutkimuksen kohdejärvistä että eräistä muista järvistä, joissa sekä ruovikon alaraja että vedenkorkeuden vaihtelu oli kuvattu (kuva 54). Ruovikon alarajan etäisyys laskettiin seuraavista tasoista: a) avovesikauden (keskimääräisen jäänlähöpäivän JLP-30.9) mediaani, b) jäänlähöpäivää seuraavan kuukauden mediaani, c) kesä-elokuun mediaani. Havaintoaineistoon kuului eri puolella Suomea sijaitsevia sekä rehevyystasoltaan että vedenkorkeusvaihtelultaan hyvin erityyppisiä järviä. Havainnot otettiin yleensä tutkimuksen yhteenvedosta käyttäen keskimääräistä kasvussyvyyttä, joten aineisto ei ole kovin tarkka. Vedenkorkeustasot laskettiin arvioimalla syvyydet vedenkorkeuden keskiarvokäyristä Kitkalla: muissa järvissä käytettiin vähintään kymmenen vuoden aikasarjoja.

Kesän mediaanista laskettu alaraja vaihtelee järviakohtaisesti välillä 1,74 - 0,76 m keskihajonnan ollessa $\pm 0,24$ m (kuva 54). Vaihtelu on myös melko suuri (1,5 - 0,8 m, SD $\pm 0,22$) laskettaessa alaraja kesä-elokuun mediaanista. Pienimmän vaihteluvälin ja hajonnan (1,64 - 1,27 m, SD $\pm 0,18$) tarjoaa ennakko-oletuksen mukaisesti jäänlähöpäivää seuraavan kuukauden mediaani. Ainoastaan Kuusamon Kitkajärven havainnot näyttävät poikkeavan merkittävästi ko. riippuvuussuhteesta. Pohjoisena kesäkuun puolelle ulottuvan jäänlähdon omaavana järvenä ei tulvahuippu kykene kuvaamaan ruovikon esiintymisen alarajaa. Arvioitaessa erilaisia säännöstelyvaihtoehtoja voitaneen parhaiten käyttää juuri jäänlähöpäivää seuraavan kuukauden vedenkorkeuden mediaania Päijänteellä ruovikon ulkoraja ulottuu 1,22 metrin syvyyteen edellä mainitusta tasosta. Ruovikon ylärajan määrittämiseksi ei löydetty sopivaa tapaa, joten se on arvioitu havaitun tason perusteella.



Kuva 54. Ruovikon esiintymisen alarajan etäisyys eri nollatasoista (selitykset kts. teksti). Alkuperäisaineistojen lähteet: Vesijärvi (Lammi 1998), Konnivesi (Riihimäki & Hellsten 1997), Iitin Pyhäjärvi (Hellsten ym. 1999), Lentua (Hellsten ym. 1989) ja Kitka-järvi (Hellsten 1982).

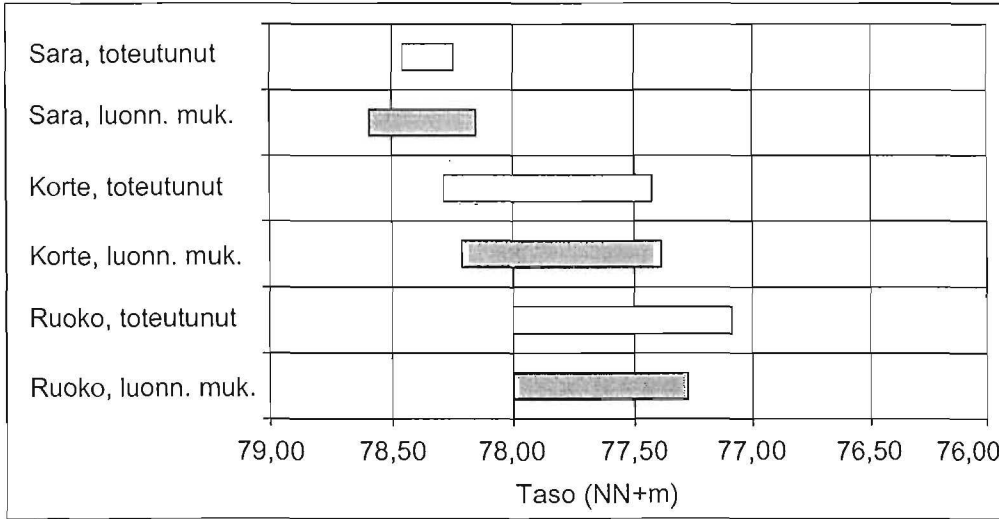
6.5.3.5 Vedenkorkeuden säännöstelyn vaikutus ilmaversoiskasvillisuuden esiintymistasoihin

Saraikon esiintymistaso näyttää kaikkein voimakkaimmin muuttuneen; kevättulvaa on leikattu ja toisaalta myös kesän alimpia vedenkorkeuksia nostettu (kuva 55). Kortteikkojen esiintymistasoissa ei näytä tapahtuneen suuriakaan muutoksia lukuunottamatta lievää siirtymää syvemmälle. Ruovikon esiintymistasossa on sen sijaan tapahtunut oleellinen laajeneminen johtuen alkukesän matalien vedenkorkeuksien yleistymisestä. Tämän myös ilmakuvatulkinnassa (4.3) havaitun muutoksen syitä on pohdittu tarkemmin kappaleessa 8.

6.5.4 Yhteenveto

Säännöstelyn suorat mekaaniset vaikutukset eivät juurikaan näy kasvipeitteessä. Jäätyvällä rantavyöhykkeellä menestyviä lajeja on hieman enemmän Päijänteellä kuin Keiteleellä. Toisaalta myös jäätyvää vyöhykettä karttaviakin on enemmän. Sekä kuivumista että tulvaa kestäviä lajeja on hieman enemmän Päijänteellä, joka kuvaa lähinnä lajiston suurempaa monimuotoisuutta. Kasvillisuuden tasapainoa kuvaavan strategiaindeksin mukaan Päijänteellä häiriön osuus on koko ajan pienentynyt, mutta stressin ja kilpailun osuus kasvanut, mikä kuvaa kasvillisuuden lisääntymistä. Keiteleellä häiriöelementin osuus oli yllättävän suuri - edeltävien vuosien vedenkorkeudet olivat olleet poikkeuksellisia ja aiheuttaneet eroosiota.

Rantavyöhykkeen ilmaversoiskasvillisuudessa säännöstelyn vaikutukset näkyvät sen sijaan selvästi. Erityisesti saraikon laskennallinen esiintymisalue on puolittunut, kun taas ruovikon laskennallinen esiintymisalue on laajentunut yli viidenneksen alkukesän alhaisista vedenkorkeuksista johtuen.



Kuva 55. Säännöstelyn vaikutus ilmaversoiskasvillisuuden laskennallisiin esiintymistasoihin. Toteutunut = laskettu 1971-1995 havaittujen vedenkorkeuksien mukaan, luonn. muk. = laskettu 1971-1995 palautettujen vedenkorkeuksien mukaan.

Rantavyöhykkeen tilaan vaikuttavat tekijät

Hellsten, S.¹⁾, Suoraniemi, M.¹⁾³⁾, Riihimäki, J.¹⁾, Visuri, M.¹⁾
ja Palomäki, R.²⁾

¹⁾VTT Yhdyskuntatekniikka, vesi- ja ekotekniikka

²⁾Keski-Suomen ympäristökeskus

³⁾Suomen Ympäristövaikutusten Arviointikeskus Oy

7.1 Yleistä

Edellisissä kappaleissa todettiin, että umpeenkasvu on useimpien indikaattoreiden mukaan edennyt pidemmälle Päijänteellä verrattuna Keiteleeseen. Mikäli säännöstely olisi ainoa kasvipeitteeseen vaikuttava tekijä, olisi sen rehevöittävä vaikutus helppo todeta. Seuraavissa kappaleissa kuvataan yleisesti rehevöitymisen kehitys pistekuormituksen ja hajakuormituksen osalta, siihen vaikuttavat tekijät ja erityisesti rehevöitymisen vaikutukset kasvipeitteeseen.

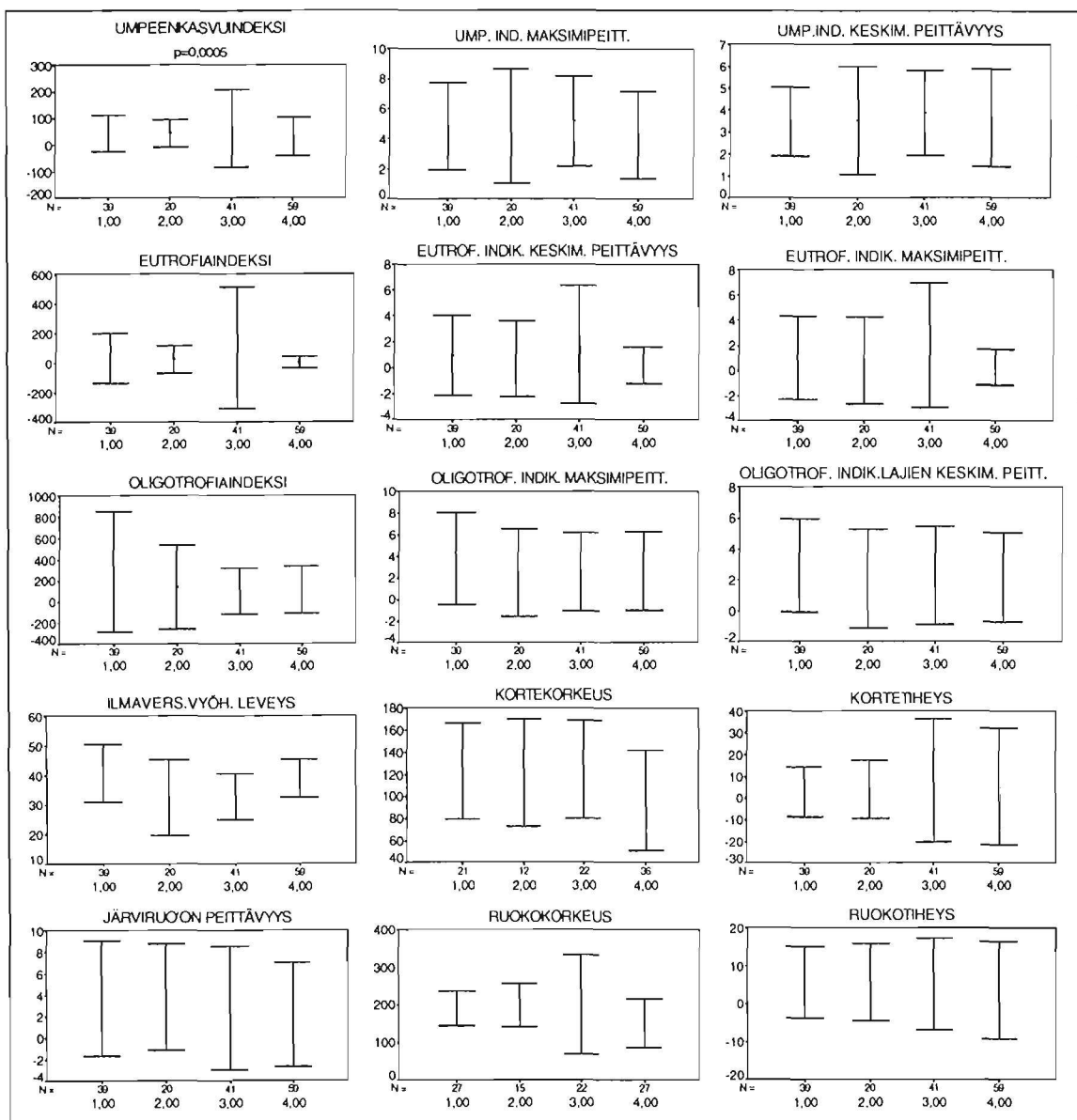
7.2 Rantavyöhykkeen kasvillisuuteen vaikuttavat ympäristötekijät

7.2.1 Yleistä

Rantavyöhykkeen kasvillisuuteen vaikuttavia tekijöitä selitetään seuraavassa suurella joukolla edellisessä kappaleessa käytettyjä muuttujia. Osa muuttujista on käsitelty jo kertaalleen edellisissä kappaleissa, mutta selkeyden vuoksi niihin puututaan vielä uudelleen. Selitettäviksi kasvillisuusmuuttujiksi on valittu umpeenkasvu-, eutrofia- ja oligotrofiaindeksit, umpeenkasvun, eutrofian ja oligotrofian indikaattorilajien keskimääräinen ja maksimipeittävyys linjalla, järviruohon peittävyys linjalla, kortteiden ja ruokojen keskikorkeus ja tiheys linjalla sekä ilmaver-soiskasvillisuuden leveys rantavyöhykkeellä.

7.2.2 Kasvillisuusmuuttujien jakauma

Umpeenkasvuindeksi oli suurin Pohjois-Päijänteellä ja pienin Keiteleellä (kuva 56). Erot olivat tilastollisesti merkitseviä ($p=0,0005$; Kruskal-Wallis testi). Myös umpeenkasvun indikaattorilajien maksimipeittävyys vaihteli samansuuntaisesti ja erot olivat merkitseviä ($p=0,0191$; Kruskal-Wallis testi). Keskipieittävyys ei antanut merkitseviä eroja alueiden välille ($p=0,2708$; Kruskal-Wallis testi). Keiteleellä rehevän kasvupaikan lajien esiintyminen on vähäisempää kuin Päijänteellä, karun paikan lajeja on runsaammin. Päijänteen eri osia verrattaessa rehevän kasvupaikan lajeja (e) tavataan Pohjois-Päijänteellä eniten, karujen kasvupaikkojen lajeja (o) taas Etelä-Päijänteellä.



Kuva 56. Kasvillisuusmuuttujien keskiarvot ja keskihajonnat. X-akseli: 1 = Etelä-Päijänne, 2 = Keski-Päijänne, 3 = Pohjois-Päijänne ja 4 = Keitele.

Linjakohtaisten eutrofiaindeksien vertailu (kuva 56) osoitti että erot osa-alueiden välillä olivat tilastollisesti merkitseviä ($p=0,0003$; Kruskal-Wallis test). Samoin eutrofian indikaattorilajien keski- ja maksimipeittävyys erosivat merkitsevästi alueiden välillä ($p=0,0003$ ja $p=0,0002$; Kruskal-Wallis test). Oligotrofiaindeksi sekä oligotrofian indikaattorilajien maksimi- ja keskipieittävyys poikkesivat myös merkitsevästi alueiden välillä ($p=0,0107$; $p=0,0358$; $p=0,0114$; Kruskal-Wallis test). Oligotrofisia lajeja oli tämän mukaan eniten Etelä-Päijänteellä.

Ilmaversoisyöhykkeen leveys oli suurin Etelä-Päijänteellä ja pienin Keski- ja Pohjois-Päijänteellä (kuva 56). Erot eivät olleet kuitenkaan tilastollisesti merkitseviä ($p=0,053$; ANOVA). Kortteen ja ruo'on korkeudet olivat Keiteleellä pienempiä kuin Päijänteellä. Erot olivat tilastollisesti merkitseviä ($p=0,002$ ANOVA; $p=0,0162$ Kruskal-Wallis). Kortetiheys ei merkittävästi poikennut alueiden välillä ($p=0,5939$; Kruskal-Wallis), mutta ruokotiheys ja ruo'on peittävyys poikkesivat toisistaan ($p=0,0162$; $p=0,0187$) ollen Keiteleellä pienimmät.

7.2.3 Kasvillisuuteen vaikuttavien tekijöiden erottelu

7.2.3.1 Korrelaatioanalyysi

Kasvillisuusmuuttujien ja ympäristömuuttujien väliset riippuvuussuhteet on esitetty yksityiskohtaisesti liitteessä 7. Rannan umpeenkasvuindeksi korreloi Päijänteellä negatiivisesti rannan muodon (muoto1), fetchin (fetch), rinnekaltevuuden ja rannan kaltevuuden sekä maaperän kanssa. Keiteleellä ainoat merkitsevät korrelaatiot löytyivät valuma-alueen fosforikuormituksesta (positiivinen) ja rannan kaltevuudesta (negatiivinen). Umpeenkasvuindikaattoreiden keskimääräinen peittävyys korreloi negatiivisesti Päijänteellä rannan muodon (muoto1), fetchin, rannan kaltevuuden ja maaperän kanssa. Positiivinen korrelaatio on sen sijaan maankohoamisen ja värin kanssa. Keiteleellä on negatiivinen korrelaatio rannan kaltevuuden ja positiivinen korrelaatio maaperän ja veden kokonaisfosforin kanssa. Umpeenkasvuindikaattoreiden maksimaalinen peittävyys korreloi negatiivisesti sekä Päijänteellä että Keiteleellä rantakaltevuuden kanssa, Päijänteellä on myös negatiivinen korrelaatio maaperän kanssa. Lisäksi Keiteleellä on positiivinen korrelaatio veden kokonaisfosforin ja maaperän kanssa.

Tarkasteltaessa ilmaversoisvyöhykkeen leveyttä havaitaan Päijänteellä sen korreloivan negatiivisesti sekä muodon (1), avoimuuden, ranta- ja rinnekaltevuuden sekä maaperän kanssa. Lisäksi havaittiin lievä korrelaatio valuma-alueen peltoprosentin kanssa. Keiteleellä korrelaatio on negatiivinen rantakaltevuuden kanssa ja positiivinen veden kokonaisfosforin kanssa.

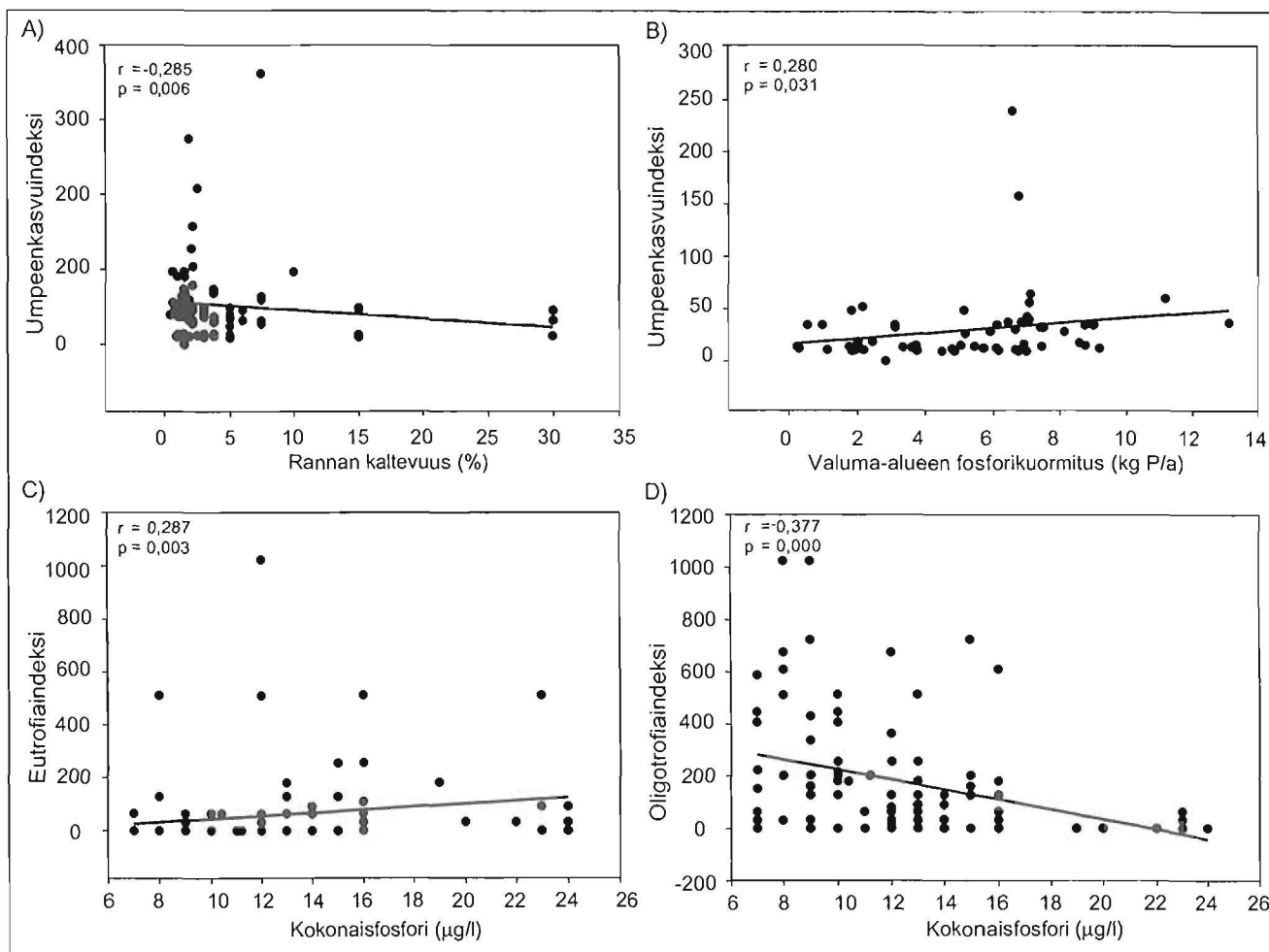
Yksittäisistä lajeista järviruo'on keskimääräinen peittävyys ei korreloi Päijänteellä minkään muuttujan kanssa, mutta Keiteleellä on hieman yllättävä positiivinen korrelaatio rannan muodon kanssa. Myös järviruo'on tiheys korreloi Keiteleellä positiivisesti rannan muotojen, peltoprosentin ja valuma-alueen typpikuormituksen kanssa. Päijänteellä korrelaatiota ei ole minkään muuttujan kanssa. Järviruo'on korkeus taas korreloi Päijänteellä positiivisesti värin, mutta Keiteleellä ei minkään muuttujan kanssa.

Järvikortteen korkeus korreloi Päijänteellä positiivisesti valuma-alueen rakennusten lukumäärän, typpikuormituksen ja näkösyvyyden kanssa. Keiteleellä korrelaatio on positiivinen rannan muotojen kanssa. Järvikortteen tiheys taas korreloi positiivisesti Päijänteellä peltoprosentin ja negatiivisesti maaperän kanssa. Keiteleellä korrelaatio on negatiivinen rannan kaltevuuden kanssa.

Rehevyyttä suosivien lajien määrää kuvaavat eutrofiaindeksi, eutrofiaindikaattoreiden keskimääräinen peittävyys ja maksimipeittävyys. Päijänteellä kaikki rehevyydsuuttajat korreloivat negatiivisesti näkösyvyyden, rinteiden ja rannan kaltevuuden, valuma-alueen rakennusten lukumäärän ja maaperän kanssa. Positiivinen korrelaatio on sen sijaan veden kokonaisfosforin ja eutrofiaindikaattoreiden maksimipeittävyttä lukuunottamatta myös maankohoamisen kanssa. Keiteleellä korrelaatio on negatiivinen näkösyvyyden ja positiivinen valuma-alueen alan kanssa.

Karuutta kuvaava oligotrofiaindeksi, oligotrofiaindikaattoreiden keskimääräinen sekä maksimipeittävyys korreloivat Päijänteellä jokseenkin päinvastaisesti kuin eutrofian indikaattorit. Negatiivinen korrelaatio on veden kokonaisfosforin, maaperän, maankohoamisen (ei keskimääräinen peittävyys) ja värin kanssa. Erityisen selkeä positiivinen korrelaatio on sen sijaan näkösyvyyden kanssa. Keiteleellä ei ole havaittavissa kuin rannan kaltevuuden negatiivinen korrelaatio oligotrofiaindeksin ja indikaattoreiden keskimääräisen peittävyyden kanssa.

Yhteenvedon voidaan todeta umpeenkasvun indikaattoreiden korreloivan pääsääntöisesti Päijänteellä vain rantojen loivuutta ja suojaisuutta kuvaavien muuttujien kanssa (kuva 57 A). Huolimatta melko selvästä laskennallisesta korrelaatiosta graafinen tarkastelu osoittaa hajonnan olevan erittäin suurta. Erityisen merkittävää on ruovikon riippumattomuus kasvuympäristöä kuvaavista



Kuva 57. Eräiden keskeisten kasvillisuus- ja ympäristömuuttujien välisiä korrelaatioita. A) Pääjärven umpeenkasvuindeksi ja rannan kaltevuus, B) Keitelelen umpeenkasvuindeksi ja valuma-alueen fosforikuormitus, C) Pääjärven eutrofiaindeksi ja veden fosforipitoisuus, D) Pääjärven oligotrofiaindeksi ja veden fosforipitoisuus.

muuttujista. Tässä yhteydessä on kuitenkin muistettava, että kaikki tarkasteltavat kohteet ovat melko suojaisia rantoja. Keiteleellä umpeenkasvua kuvaavat muuttujien arvot jäävät aika alhaiseksi, mutta lievä korrelaatio valuma-alueen fosforikuormituksen kanssa osoittaa kuitenkin umpeenkasvun keskittyvän ravinnerikkaille alueille (kuva 57 B). Eutrofiaa osoittavat kasvillisuusmuuttujat korreloivat odotetusti veden laadun kanssa Pääjärveellä, mutta myös osin Keiteleelläkin (kuva 57 C, liite 7). Oligotrofian indikaattoreiden esiintyminen on jokseenkin päinvastainen, vaikka Keiteleellä ei aineiston pienuudesta johtuen selkeitä korrelaatioita löydykään (kuva 57 D, liite 7).

7.2.3.2 Monimuuttuja-analyysi

Pääjärven ja Keitelelen kasvillisuudesta laskettujen indeksien suhtautumista linjoilta mitattuihin ympäristömuuttujiin arvioitiin myös CCA-ordinaatiolla. Kyseessä on monimuuttujainen suora gradienttianalyysi, jota voidaan käyttää tutkittaessa vastemuuttujaryhmän suhdetta selittävään muuttujaryhmään. Vastemuuttujina analyysissä käytettiin järvien linjojen kasvillisuusmuuttujia ja selittävinä muuttujina mitattuja ympäristömuuttujia. Ympäristömuuttujiksi analyysiin otettiin ainoastaan muuttujat, joissa ei ollut puuttuvia havaintoja. Sekä Pääjärven että Keitelelen kasvillisuusmuuttujien CCA-ordinaatio osoitti, ettei kasvillisuusindeksien käyttö

monimuuttuja-analyysissä ole tällä aineistolla mahdollista. Analyysin muodostamien ordinaatioakselien ominaisarvo (eigenvalue, taulukko 13) jää kaikissa tapauksissa niin pieneksi (alle 0,020) ettei akselien tulkinta ole mielekästä vaan ne tulee hylätä. (Ter Braak 1987). Todennäköisesti kasvillisuusindeksien käyttö hävittää alkuperäisen aineiston informaatiota niin paljon ettei niitä voi analyysissä käyttää.

Linjojen kasvillisuuden runsausaineiston CCA-ordinaatio antoi tulkintakelpoisen tuloksen. Analyysia varten kummankin järven aineistosta jätettiin pois lajit, joita esiintyi vain alle 5 prosentilla järven tutkituista linjoista; Päijänteellä aineistossa alle 5 kertaa tavatut lajit ja Keiteleellä alle 3 kertaa tavatut lajit jätettiin pois. Päijänteen analyysissä (kuva 58) on nähtävissä umpeenkasvu-indikaattoreista pullosaran, luhtasaran ja järvikaislan sijoittuminen kokonaisfosfori pitoisuusgradientin korkeaan päähän ja pullosara näyttäisi myös olevan runsas alueilla, joilla veden väriarvo on suuri ja maankohoaminen voimakasta.

Keiteleen kasvillisuusaineiston ordinaatiossa pullosaran, luhtasaran ja järvikaislan sijoittuminen suhteessa ympäristömuuttujia kuvaaviin nuoliin on samankaltainen Päijänteen tulosten kanssa (kuva 59). Sekä Päijänteen että Keiteleen analyysissä ordinaatioakselien selitysaste jää kuitenkin melko pieneksi. Molemmissa analyyseissä 1- ja 2-akseli selittävät yhdessä vain noin 10 % lajien ja ympäristömuuttujien varianssista. Kuvien luettavuuden parantamiseksi on kuvista jätetty pois ne ympäristömuuttujat, joiden korrelaatio molempien ordinaatioakselien kanssa oli pienempi kuin 0,25.

7.3 Muita kasvillisuuteen vaikuttavia tekijöitä

7.3.1 Piisami

Päijännetutkimuksen yhteydessä eräät ranta-asukkaat ja kalastuskuntien edustajat totesivat piisamikantojen heikentyneen säännöstelyn aloittamisen jälkeen. Piisami käyttää tunnetusti ravinnokseen rantavyöhykkeen kasvillisuutta ja piisamien vähentyminen heijastuu suoraan kasvillisuuden määrään. Piisamista laadittiin erillinen kirjallisuusselvitys, jonka tulokset on kuvattu seuraavassa kappaleessa (Lammi ym. 1999).

Kirjallisuusselvityksen mukaan piisami ei koskaan ole voinut olla erityisen runsas Päijänteellä suojaisten lahtien vähyyden vuoksi. Läheisellä Vesijärvellä piisamien määrä on lisääntynyt lauhoina talvina, mutta Päijänteellä ilmeisesti vedenpinnan säännöstely on pitänyt piisamikannan kurissa. Erityisesti alkutalven lasku jäädyttää pesää ympäröivät matalat alueet, joten piisamit eivät pääse pesis-tään ulos. Toisaalta myös avovesikauden nouseva vedenpinta saattaa heikentää piisamin elinmahdollisuuksia tukkimalla lisääntymispaikoiksi sopivia käytäviä. Piisami voi todennäköisesti pitää ainoastaan paikallisesti kortteikoja ja kaislikkoja kurissa.

Taulukko 13. Päijänteen ja Keiteleen kasvillisuusmuuttujien ja ympäristömuuttujien suhdetta kuvaavan CCA-ordinaation muodostamien akselien ominaisarvot (eigenvalue).

| | CCA-ordinaatioakselin ominaisarvo | | |
|----------|-----------------------------------|----------|----------|
| | Akseli 1 | Akseli 2 | Akseli 3 |
| Päijänne | 0,001 | 0,000 | 0,000 |
| Keitele | 0,001 | 0,000 | 0,000 |

Aineiston luokittelu oli seuraava:

- Rannan muoto: 1) Avoin (rantaviiva suora tai niemi), 2) Suojainen jyrkkä (rantaviiva lahtimainen, kapea kasvillisuus), 3) Suojainen loiva (rantaviiva lahtimainen, leveä kasvillisuus)
- Kasvillisuuden leveys käsitellyiltä alueilta (m)
- Veneväylä
 - Leveys (asteikkona) 1) soutuvene, 2) moottorivene 3) purjeverene tai suuri vene
 - Pituus (m)
 - Kunnostustoimenpide: 1) niitetty, 2) ruopattu, 3) ei tunnistettavissa
- Rannan suuntainen muu käsittely (m)
 - 1) Niitto 2) Raivaus 3) Ruoppaus 4) Pengerrys 5) Käsitlemätön osuus (arvioitu koko viiden tarkastelukilometrin pituuden perusteella)
- Laitureiden lukumäärä (kpl)

Tarkastelun aikana havaittiin, että rantaviivan todellinen pituus oli huomattavasti suurempi, kuin alunperin digitaalisilta kartoilta mitattu viisi kilometriä. Virhe korostuisi etenkin rannan suuntaista käsittelyä arvioitaessa, koska käsitlemätöntä osuutta ei mitattu ilmakuvilta, vaan sen oletettiin olevan loput viiden kilometrin pituisesta rantajaksosta. Habitaattialueelta K9 mitattiin rantaviivan todelliseksi pituudeksi 8 km, jonka katsottiin edustavan rantaviivan mutkittelun suhteen kaikkia muitakin kohdealueita. Kaikilla alueilla käytettiin kahdeksan kilometrin oletuspituutta.

Tutkimusaineisto koostui 24:stä viiden (kahdeksan) kilometrin pituisesta rantajaksosta, joista Etelä-Päijänteellä oli 13, Keski-Päijänteellä 6 ja Pohjois-Päijänteellä 5 kappaletta (taulukko 14.) Tuloksiin on suhtauduttava tietyin varauksin, koska käsittelytapa oli hyvin vaikeasti arvioitavissa ilmakuvista. Lisäksi aineiston niukuus estää yleistä tuloksia kaikille muille kohdealueille.

Kunnostettavan rantatyyppin muodon suhteen kiinnittyy huomio kaikkein vaikeimpien ranta-alueiden (suojainen loiva) jäämiseen raivaustoiminnan ulkopuolelle. Ilmeisesti rannan käyttäjät välttävät näitä matalia lahdelmia. Toisaalta myös avoimilla rannoilla on tehty kasvillisuuden poistoa, joka ilmentää ongelman laaja-alaisuutta. Suhteutettaessa prosenttijakauma rantatyyppin yleiseen esiintymiseen voidaan arvioida, että 399 km avoimia, 391 km suojaisia jyrkkiä ja 30 km suojaisia loivia rantoja on jollain tavalla käsitelty. Luku lienee liian suuri, mutta antaa kuitenkin kuvan 2248 rantakilometrin tilasta.

Veneväylien suhteen voidaan myös havaita kunnostustoimien laaja-alaisuus. Yhteensä väyliä on tehty noin 14 km, joista yli 2/3 on ruopattu. Mikäli aineisto tarjoaa edustavan kuvan koko Päijänteestä voidaan arvioida väyliä olevan rantaviivan pituuteen suhteutettuna liki 260 km.

Elinympäristöjen kannalta kaikkein merkittävin tekijä on kuitenkin rantaviivan suuntaiset toimenpiteet (taulukko 14, kuva 60). Keskimäärin rantaviivasta on käsitelty esimerkiksi Etelä-Päijänteellä, jonka aineisto on luotettavin, noin 7 %. Suhteutettaessa käsiteltyjen ranta-alueiden osuutta koko rantaviivan pituuteen (2248 km) voidaan arvioida niitetyn rantaviivan pituuden olevan 27 km, raivattujen 55 km, ruopattujen 83 km ja pengerrytysten 7 km. Sysmän alueella virallisia kuivatustarkoitusta vasten tehtyjä pengerryksiä on tehty 2,2 km (Vierikkälä, suull.ilm.). Koko Päijänteeseen pengerrysten määrästä ei ole virallista tietoa, mutta voidaan olettaa sen olevan noin kaksinkertainen. Ilmakuvatulkinnassa pengerryksiä tulkittiin kaikki rannat, joilla oli havaittavissa konevoimalla tehty penger. Ero tulkinnan ja todellisuuden välillä ei ole erityisen suuri. Raja ruopatun ja raivatun rannan välillä on häilyvä ja keinotekoinen, mutta niiden yhteenlaskettu määrä 138 km lienee lähellä todellisten ruoppausten määrää.

Taulukko 14. Kunnostettujen rantojen ominaisuudet Päijänteellä.

| | Etelä-Päijänne | Keski-Päijänne | Pohjois-Päijänne | Yhteensä |
|-------------------------------------|----------------|----------------|------------------|----------|
| Rantatyyppi (%) | | | | |
| Avoim | 33 | 35 | 33 | 34 |
| Suojoinen jyrkkä | 61 | 54 | 59 | 59 |
| Suojoinen loiva | 6 | 10 | 7 | 8 |
| Kasvillisuuden leveys (m) | 38 | 42 | 40 | 41 |
| Veneväyliä | | | | |
| Kapeat kpl | 13 | 3 | 3 | 1 |
| pituus (m) | 1243 | 108 | 296 | 1647 |
| Keskikokoiset kpl | 34 | 22 | 23 | 79 |
| pituus (m) | 5256 | 2609 | 2296 | 10162 |
| Leveät kpl | 11 | 4 | 8 | 23 |
| pituus (m) | 1356 | 263 | 874 | 2492 |
| Kunnostustoimenpide | | | | |
| Niitetty (m) | 2500 | 373 | 1533 | 4406 |
| Ruopattu (m) | 5352 | 2607 | 1953 | 9912 |
| Rannan suuntainen muu käsittely (m) | | | | |
| Niitto | 1227 | 419 | 730 | 2376 |
| Raivaus | 2320 | 876 | 1684 | 4879 |
| Ruoppaus | 3937 | 1680 | 1775 | 7392 |
| Pengerrys | 315 | 57 | 276 | 648 |
| ei käsittelyä | 96201 | 52968 | 35536 | 184706 |
| Laitureita (kpl) | 203 | 115 | 88 | 406 |

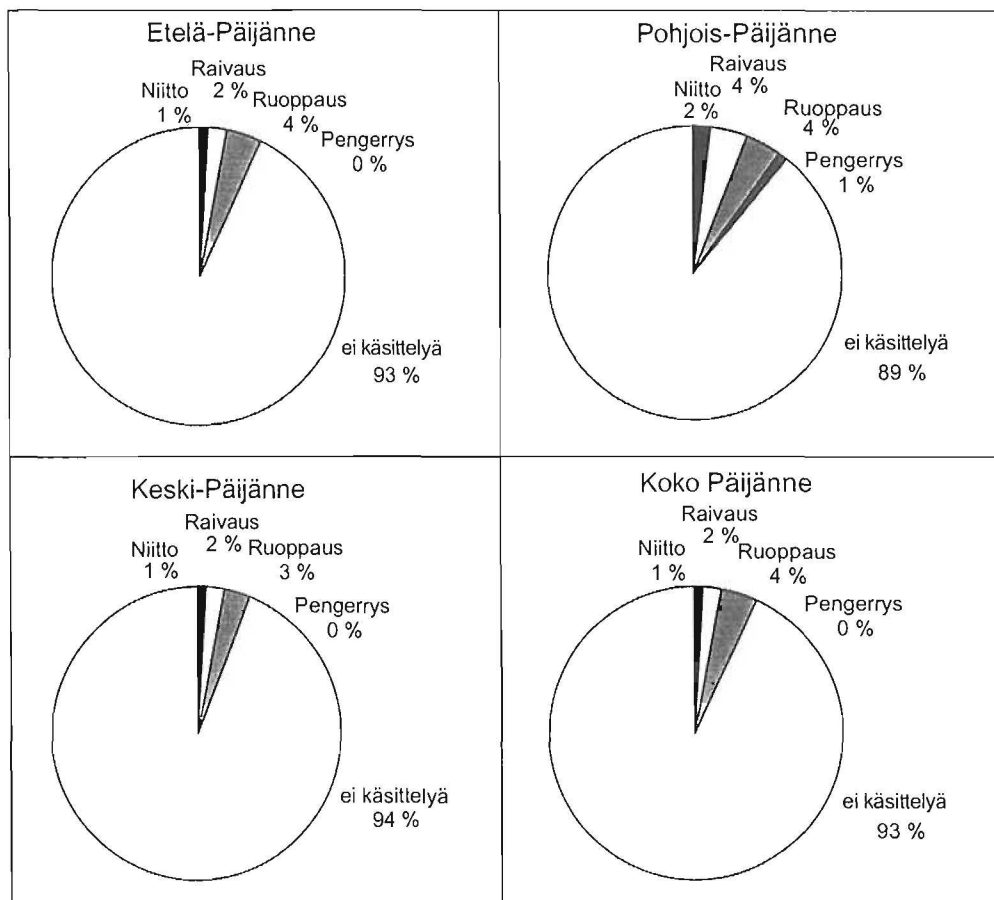
7.3.2.2 Laiduntaminen

7.3.2.2.1 Yleiset vaikutukset

Karjan laiduntaminen vaikuttaa merkittävästi järvien ranta- ja vesikasvillisuuteen. Useimmilla järvillä ja myös merenrannoilla matalia rantaniittyjä käytettiin vielä 1950-luvulla laidunalueina tai ainakin metsälaitumet rajautuivat rantavyöhykkeelle. Lisäksi erityisesti kortetta ja ruokoa niitettiin talvirehuksi varastoon, joka myös omalta osaltaan vähensi suurten ilmaversoisten määrää. Rantalaiduntaminen on suurelta osin loppunut tehomaa- ja metsätalouden myötä 1960-70-luvun taitteessa, kun lypsykarjan rantalaidunnuksesta luovuttiin.

Laiduntamisen vaikutuksia rantavyöhykkeellä on kuvattu perusteellisesti erityisesti Mariston (1935) Näsijärvi ja Vaherin (1932) Jyväsjärvityössä. Mariston (1935) mukaan laiduntaminen oli muuttanut puhtaat kasvillisuusvyöhykkeet hajanaisiksi. Niiden tilalle oli syntynyt uusia, bioottisesti heikompien lajien muodostamia kasvustoja tai paikoitellen oli muodostunut kasvittomiakin aloja. Suurimmat muutokset Jyväsjärvessä tavattiin saraikko- ja kortteikkovyöhykkeissä, mutta ruovikkokin oli voimakkaasti harventunut (Vahe 1932). Myös Näsijärvessä havaittiin saraikon ja kortteikon häviäminen ja niiden tilalle oli ilmestynyt aina 50 - 60 cm:n syvyyteen asti mm. *Glyceria fluitans*, *Alisma plantago-aquatica*, *Eleocharis palustris*, *Lythrum salicaria*, *Sagittaria*-lajit, *Alopecurus aequalis*, *Cicuta virosa* ja *Phalaris arundinacea* (Maristo 1935). Syvemmälle mentäessä yleistyivät *Persicaria amphibia*, *Potamogeton natans*, *Nymphaea candida* ja *Nuphar lutea* (Vahe 1932).

Laiduntamisen vaikutus kasvillisuuteen pienenee rannalta syvemmälle mentäessä melko nopeasti ja karjan tallaamisen vaikutus loppuu miltei kokonaan noin metrin syvyydellä. Vesirajassa karjan tallaamista vielä tehostaa aallokon kuluttava



Kuva 60. Rantaviivan suuntaiset toimenpiteet Päijänteen eri osa-alueilla.

vaikutus. Kauan laidunnetulla rannalla on jo lajien välinen kilpailu lakannut ja käynnissä on vain taistelu olemassaolosta karjan tallaamista vastaan. Ilmaversoiset kasvit ovat paikoin hävinneet ja aukkopaikoilla kasvaa pieniä pohjalehtisiä kuten *Subularia aquatica*, *Isoetes echinospora*, *Crassula aquatica*, *Elatine hydropiper* ja *Callitriche palustris*. Vesirajan tuntumassa on sotkemisen ja aallokon yhteistyön tuloksena, lähinnä hiesu- tai hietapohjalle syntynyt mättäitä ja kohoumia, jotka sammal on vallannut. Lajeina tavallisesti *Warnstorfia fluitans* ja *Climacium dendroides*. (Maristo 1935). Laiduntamisen loputtua korte valtaa ensimmäisenä menetetyt kasvupaikkansa (Vaheri 1932).

7.3.2.2 Rantalaiduntaminen Päijänteellä

Päijänteen läheisen Vesijärven Paimelanlahden ja Kukkilanselän alueella on tehty 1950-luvulla kaksi opinnäytetyötä, jossa myös laiduntamista on käsitelty (Manni 1953, Hukki 1955). Hukin (1955) mukaan kortteikko ja ruovikko on miltei tyystin hävinnyt laidunnetuilta alueilta, joita oli karttaliitteen perusteella mitattuna noin 21,5 % rantaviivan pituudesta (20,5 km). Avolaikuille oli ilmestynyt syötäväksi kelpaamattomia (tai karjan hyljeksimiä) lajeja kuten ratamosarpio (*Alisma plantago-aquatica*), pystykeiholehti (*Sagittaria sagittifolia*), raate (*Menyanthes trifoliata*) ja terttu-alpi (*Lysimacchia thysiflora*). Laidunnetuille alueille ilmestyy myös helposti selviä eutrofian indikaattoreita (esim. *Ricciocarpus natans*). Vesijärvellä rantalaiduntamista on harjoitettu 1990-luvulla enää kahdessa paikassa (Lammi, 1999, suull.ilm.). Ainakin Hillilän kalastuskunnan alueella 1990-luvun alkupuolen sinileväkukintojen aikaansaama myrkytysuhka lopetti rantalaiduntamisen tyystin (kalastuskunnan esimies suull. ilm.).

Päijänteellä rantalaiduntaminen on ollut hyvin yleistä aina 1970- luvun puolenvälin tienoille, jolloin se loppui lähes kokonaan (Nikki, 1999, suull. ilm.). Karja laidunsi metsissä, jotka rajoittuivat järven ranta-alueisiin. Ruoko ja korte syötiin niin syvälle kuin eläimet ylettyivät ja puhdistivat usein rannat kokonaan paljaksi. Ruokoa niitettiin myös hyvin yleisesti karjanrehuksi. Etelä-Päijänteellä sijaitsevan Salonsaaren SW-rannalla on laidunnus lopetettu vasta muutama vuosi sitten. Laiduntamisen jäljiltä ruovikko on vielä taantunutta (8-16 kpl/m²), mutta elinvoimaista. Harvan ruovikon seassa 1,5 metrin syvyydessä kasvaa mm. näkinpartaisia (*Chara sp.*), vesitatar (*Persicaria amphibia*), pystykeiholehti (*Sagittaria sagittifolia*), isosorsimo (*Glyceria maxima*), äimäruoho (*Subularia aquatica*), rantaluikka (*Eleocharis palustris*), nuottaruoho (*Lobelia dortmanna*) ja järvikorte (*Equisetum fluviatile*).

Sysmässä Rapalan kylässä Lauri ja Eeva-Liisa Kirveen tilalla on rantalaiduntaminen aloitettu 1950- luvun alussa ja edelleenkin lihakarja laiduntaa rantaniityllä kesäkuun alusta lokakuun loppuun. Järviruon leikkaaminen karjan rehuksi on sen sijaan loppunut parikymmentä vuotta sitten. Vähävetisinä aikoina lehmät söivät koko ruovikon, mutta normaaleina kesinä syvälle jäi kapea ruokovyöhyke. Sen sijaan sonnit pääsivät syvemmälle ja söivät aina koko ruovikon pois. Vieressä kasvava osmankäämikasvusto ei sen sijaan kelpaa eläimille ravinnoksi. Syyskuun alussa laidunnettu rantavyöhyke oli miltei paljaana kasvillisuudesta, ulompana kasvoi harvaa ruovikkoa (16 kpl/m²) ja järvikaislaa (16 kpl/m²). Laidunnetulla alueella pohja oli mutainen ja siellä täällä kasvoi ulpukkaa (*Nuphar lutea*), osmankäämiä (*Typha sp.*) ja ärviöitä (*Myriophyllum sp.*).

Rantalaiduntamisen yleisyyttä ja sitä kautta vaikutusta kasvillisuuteen on Päijänteellä vaikea selvittää, koska tarkkoja tietoja laidunnusalueista ei ole. Toisaalta Päijänne ei ole ollut suhteellisen jyrkkärantaisena järvenä erityisen sovelias rantalaidunnukseen. Rantavyöhykkeelle ulottuvien peltojen ja niittyjen määrän (Oy Vesirakentaja 1998) ja keskimääräisen kaltevuuskulman perusteella voidaan arvioida rantapeltujen osuudeksi 2,9 %. Laiduntaminen ei kuitenkaan kohdistunut vain peltoalueille, joten luku on ilmeisesti liian pieni. Laidunrantojen arvioimiseksi mitattiin kolmelta peruskartan pienennökseltä (Kaipola, Luhanka, Sysmä) rantaviivan pituus (yht. 958 km) ja määritettiin laidunrannaksi kaikki alueet, joilla pelto oli alle sadan metrin etäisyydellä rannasta (yht. 37,6 km). Laidunrantojen määräksi saatiin siis 3,9 % rantaviivasta, jonka katsotaan edustavan koko Päijänteen tilannetta. Laiduntamisen loppuminen on ilmeisesti edesauttanut ruovikoiden leviämistä. Otettaessa huomioon ruovikoiden koko esiintymisalueen osuus (noin 40% rantaviivasta) voidaan arvioida laiduntamisen loppumisen lisänneen ruovikoiden alaa noin kymmenesosan. Monin paikoin ruovikot ovat epäilemättä myös tihentyneet laidunnuksen loputtua, joten laidunnuksen merkitys voi olla huomattavastikin suurempi kuin pelkän pinta-ala-arvion perusteella voisi olettaa.

7.4 Yhteenveto Päijänteen ja Keiteleen havainnoista

Umpeenkasvuun vaikuttavia muita tekijöitä on pyritty analysoimaan erittäin perusteellisesti. Oleellista on koealueiden samankaltaisuus; Keiteleen rannat ovat vähän loivempia, Päijänteellä pohjoisosa on jyrkin. Vedenlaatu vaihtelee Päijänteen eri osissa; pohjoisosa on selvästi ravinnerikkaampi. Erot Keiteleen eri osissa ovat vähäiset, mutta Keitele on hieman karumpi. Rehevyyden yleinen vaikutus kasvillisuuteen on melko selvä; Keiteleellä eutrofian indikaattorien määrä on pienempi ja oligotrofian indikaattoreiden määrä taas hieman suurempi kuin Päijänteellä. Ainoastaan vedenkorkeuden vaihteluvyöhyke vastaa kasvillisuuden runsauden suhteen Päijännettä.

Valuma-alueen maankäyttö on jokseenkin samanlaista molemmilla tutkimusjärjillä, mutta asuinrakennuksia on kuitenkin selvästi enemmän Päijänteellä. Valuma-alueen laskennallinen fosforikuormitus on melko tasainen, mutta typpi-kuormitus on suurinta Etelä-Päijänteellä. Valuma-alueet ovat huomattavasti loivempia Keiteleellä. Peltoprosentin kasvaessa umpeenkasvuindeksi, korte- ja ruokotiheys sekä ilmaversoisvyöhykkeen leveys kasvoivat hieman. Veden fosforipitoisuus näytti vaikuttavan umpeenkasvun ja erityisesti rehevyyden indikaattoreiden määrään hyvin selvästi. Veden typpipitoisuus ei sen sijaan vaikuttanut juuri lainkaan, ja hyvin vähäinen oli myös valuma-alueen merkitys tarkasteltaessa molempia järviä erikseen. Maankohoamisen lisääntyessä myös umpeenkasvu eteni hieman.

Miten sitten havaintoja voidaan tulkita - onko ravinnekuormitus vai säännöstely suurempi syyllinen rantojen rehevöitymiseen? Onko vain fosfori rehevöittänyt järven eikä säännöstelyllä ole juurikaan merkitystä? Fosfori vaikuttaa ennen kaikkea uposlehtisten rehevyyden indikaattoreiden esiintymiseen eikä niin paljon ylempänä rannalla kasvaviin umpeenkasvun indikaattoreihin. Fosforin määrä ei Keiteleellä ole kovin paljon pienempi, mutta umpeenkasvun indikaattorit eivät juurikaan korreloi sen kanssa. Luonnonmukainen vedenkorkeuden vaihtelu pitää rantavyöhykkeen paremmin puhtaana ja hidastaa umpeenkasvua, vaikka kuormitus olisi korkeakin. Lähivaluma-alueelta tulevan hajakuormituksen merkitys on osin kiistanalainen; ruovikot usein typpirajoitteisina kasvustoina ovat ehkä hyvinkin herkkiä lisäkuormitukselle, mutta tilastollisesti merkittäviä riippuvuussuhteita ei löydetty.

Taulukkoon 15 on koottu tässä tutkimuksessa määritetyt keskeisimmät ympäristömuuttujat ja niistä saadut tärkeimmät tulokset.

Taulukko 15. Keskeisimpien mitattujen muuttujien tärkeimmät tulokset Päijänteellä verrattuna Keski-Keiteleeseen.

| Muuttuja | Keskeisin tulos |
|--|--|
| 1. Vesi- ja rantakasviston yleisyys (%) | |
| a) 1953 > 1974 | Miltei kaikki lajit yleistyneet |
| b) 1974 > 1996 | Kasvillisuus lievästi vähentynyt |
| 2. Vedenkorkeuden vaihtelu | |
| a) Talviset vedenkorkeudet | Alenema selvästi suurempi, vaikutus pieni |
| b) Keväiset vedenkorkeudet | Tulva alentunut (25 cm) ja myöhästynyt (10 vrk) |
| c) Avovesikauden vedenkorkeudet | Vaihteluväli kaventunut 25 cm, taso hieman noussut |
| d) Indikaattorien kasvillisuusindeksit | |
| a) eri osa-alueilla | Hieman vähemmän Keiteleellä, monimuotoisuus suurin Päijänteellä |
| b) vuosijaksoittain | Päijänteellä 1974 suurimmat arvot |
| e) Strategia indeksit | Päijänteellä kilpailun osuus kasvanut Keiteleellä häiriön osuus suuri |
| 3. Taustamuuttujat | |
| a) Rannan kaltevuus (%) | Etelä-Päijänne jyrkin, Keitele loivin |
| b) Avoimuus | Keitele hieman suojaisempi |
| c) Veden laatu | Päijänne hieman rehevämpi ja tummavetisempi (kok.P13, väri 35) kuin Keitele (kok.P 10, väri 33) Päijänne ollut rehevämpi 70-luvun puolivälissä |
| 4. Umpeenkasvu | |
| a) Kasvustojen leveys (%) | Puustoa ja sammalia enemmän Keiteleellä |
| b) Rannan kasvittumisaste (%) | Ei juuri eroa Päijänteen eri osien välillä |
| c) Ilmaversoisten tiheys (kpl/m ²) ja korkeus (cm) | Harvempia ja korkeampia Päijänteellä |
| d) Turpeen osuus (%) ja paksuus (cm) | Osuus ja paksuus selvästi pienempi Keiteleellä |
| e) Pohjan pehmeys (cm) | Päijänteellä selvästi pehmeämpi |
| f) Umpeenkasvun indikaattorien yleisyys (%) | Yleisyys suurimmallaan vuonna 1974, ei eroa osa-alueiden välillä, Keiteleellä selvästi pienempi |
| g) Umpeenkasvun indikaattorien kasvillisuusindeksi-arvo | Kasvaa selkeästi Pohjois-Päijänteelle mentäessä, pienin Keiteleellä |
| 5. Umpeenkasvuun vaikuttavat tekijät | |
| a) Rehevöityminen | |
| a) vuosijaksoittain | |
| *1953 > 1974 | Rehevöitymisen indikaattorit yleistyneet |
| *1974 > 1996 | Puhtaan veden indikaattorit yleistyneet |
| b) osa-alueittain | |
| *1974 | Keski- ja Pohjois-Päijänne selvästi reheviä |
| *1996 | Etelä-Päijänne selvästi karuin Keitele selvästi karuin, vastaa Etelä-Päijännettä |
| b) Maankohoaminen | Vaikutuksia ei voi erottaa rehevöitymisgradientin samansuuntaisuuden vuoksi |
| c) Lähivaluma-alue | Vaikutus ei havaittavissa Päijänteellä, Keiteleellä lisää lievästi kasvillisuutta Ruovikko riippumaton veden rehevyydestä Veden kok.P korreloi rehevöitymiseen |

Ruovikoituminen; täydentävät erillistutkimukset

Keto, A.¹⁾, Hellsten, S.²⁾, Lammi, E.³⁾, Partanen, S.²⁾, Visuri, M.²⁾ ja Lampolahti, J.⁴⁾

¹⁾Päijänne luontokeskus

²⁾VTT Yhdyskuntatekniikka, vesi- ja ekotekniikka

³⁾Biologitoimisto Jari Venetvaara Ky.

⁴⁾Tmi Janne Lampolahti

8.1 Järviruo'on kasvuolosuhteista erilaisilla pohjatyypeillä Etelä-Päijänteellä

8.1.1 Taustaa

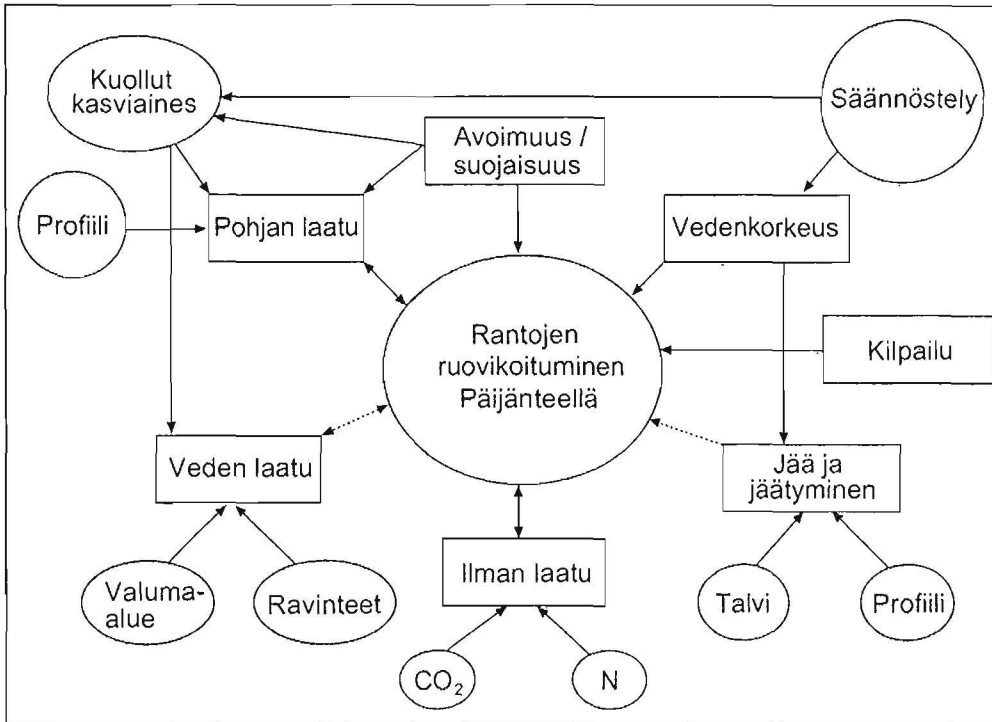
Järviruoko (*Phragmites australis*) kasvaa yleisenä sekä meren että sisävesien rannoilla koko maassa pohjoisinta Lappia lukuunottamatta. Se on Rintasen (1996) mukaan lisääntynyt suurissa reittivesistöissä, joissa aallokkoisuudella ja jäällä voi olla suuri vaikutus rantavyöhykkeeseen. Järviruoko on maamme heinäkasveista kookkain ja lisääntyy pääasiassa juurakoittensa avulla. Järviruo'on pinta-ala ja kasvusto on suurempi kuin millään muulla ilmaversoisella vesikasvilla. Siksi sen leviäminen on havaittu eräaksi suurimmista rantavyöhykkeen tilaa muuttavista tekijöistä myös Päijänteellä. Pohjan laatu on ilmaversoiskasvillisuudelle vedenkorkeuden lisäksi tärkeä levinneisyyteen vaikuttavista tekijöistä (kuva 61). Koska vedenkorkeuden tiedettiin olevan järviruo'on kasvukauden alussa säännöstelyssä Päijänteessä luonnonmukaista alempana, keskityttiin tutkimaan järviruo'on kasvuolosuhteita pohjan laadun kautta. Veden laatua verrattiin eri linjojen edustalla. Lisäksi yhdellä linjalla seurattiin ruovikon sisällä olevaa veden laatua, koska siellä veden vaihtuvuutta ja kasvuolosuhteita epäiltiin heikoiksi.

Tämän osatutkimuksen tarkoituksena oli selvittää:

1. Miten pohjan laatu vaikuttaa ruovikoitumiseen?
2. Minkälaiset kasvuolosuhteet ovat ruovikossa

8.1.2 Tutkimusalue ja menetelmät

Tutkimuksen kohdealueeksi valittiin kolme Etelä-Päijänteellä sijaitsevaa ruovikkoa. Kaksi tutkimuslinjaa sijoittui Vähä-Äiniönlahteen ja yksi Kinisselällä Uitonsalmeen. Vähä-Äiniönlahti on pitkä ja matala lahti, johon vaikuttaa voimakkaimmin maataloudesta tuleva hajakuormitus. Vähä-Äiniönlahti on runkoalueeltaan avoin ja sen vedenvaihtumisolot ovat hyvät. Lahden pohjassa sijaitsevien Kaunionlahden ja Pätiälänlahden vesi vaihtuu huomattavasti hitaammin. Kinisselkä on syvä ja



Kuva 61. Kaavakuva ruovikoitumiseen vaikuttavista tekijöistä (Keto 1999).

karu selkä, johon laskee Urajärven valuma-alueen vedet. Vääksynjoen kautta Vesijärvi laskee Päijänteeseen ja osa Vesijärven vedestä virtaa Salonsalmen kautta Kinisellä ja Uitonsalmen kautta takaisin Asikkalanselälle.

Tutkimuksen kokeellinen osuus jakaantui litoraalisedimentistä (pohjan laadusta) tehtyihin analyysihin, kasvillisuudesta kentällä tehtyihin mittauksiin sekä vedenlaadun vertailuun eri linjojen välillä ja linjan sisällä. Linjojen rakenne ja ympäristön maankäyttömuodot selvitettiin karttatarkastelun perusteella ja Päijänteen säännöstelyn kehittämiselvitykseen sovelletuilla yhtälöillä. Linjat A ja B olivat kaltevuudeltaan samaa luokkaa. Linja C sen sijaan oli profiililtaan jyrkempi. Avoimuuden ja suojaisuuden suhteen linja C oli suojaisempi ja linja A kaikkein avoin. Verrattaessa linjoja B ja C oli linja C suojaisempi. Näytteenottoajankohtia oli kolme 17.6., 21.8. ja 4.10.1997. Ne valittiin kasvillisuuden kasvukauden alkupuolelle, kasvillisuuden biomassamaksimiin ja kasvillisuuden lakastumisvaiheeseen. Linjoilta otettiin näytteet kuudesta pisteestä kasvillisuusvyöhykkeestä sekä yhdestä pisteestä kasvillisuusvyöhykkeen ulkopuolelta (taulukko 16).

Sedimenttilinjojen kohdalla mitattiin järviruo'on kasvustojen versotiheyksiä ja korkeuksia eri syvyysvyöhykkeillä sedimenttipisteiden kohdalla. Tiheydet mitattiin 0.25 m² ruudulla. Jokaisesta ruudusta otettiin 5 yksilön näyte, jotka kuivauksen jälkeen (24 h / 80°C) mitattiin ja punnittiin. Tämän aineiston perusteella laskettiin tutkimuslinjojen järviruo'oilte pituuden ja massan välille yhtälö, jota käytettiin ruovikoiden biomassalaskennassa. Sedimenttilinjoilta otettiin syyskuussa 1998 lisäksi sedimenttinäytteet ruovikon maanalaisen juurakkobiomassan laskemiseksi. Kasvillisuustuloksia verrattiin sedimenttituloksiin ja niiden välille laskettiin keskinäiset korrelaatiot.

Taulukko 16. Sedimenttipisteiden sijainti tutkimuslinjoilla.

| Piste | Taso NN + (m) | Syvyys (cm) NN + 78.15m | Kasvillisuus | Litoraali | | | Profundaali |
|-------|------------------|----------------------------|--------------|-----------|--------|--------|-------------|
| | | | | Eu | Yläsub | Alasub | Alapuoli |
| A1 | 78.35 | -20 | sara/ruoko | x | | | |
| A2 | 78.15 | 0 | ruoko | | x | | |
| A3 | 77.90 | 25 | ruoko | | x | | |
| A4 | 77.70 | 45 | ruoko | | | x | |
| A5 | 77.40 | 75 | ruoko | | | | x |
| A6 | 77.00 | 115 | ruoko/korte | | | | x |
| A7 | 76.30 | 185 | ei kasv. | | | | x |
| B1 | 78.35 | -20 | sara/ruoko | x | | | |
| B2 | 78.15 | 0 | sara/ruoko | | x | | |
| B3 | 77.90 | 25 | ruoko/korte | | x | | |
| B4 | 77.70 | 45 | ruoko/korte | | | x | |
| B5 | 77.40 | 75 | ruoko | | | | x |
| B6 | 77.00 | 115 | ruoko | | | | x |
| B7 | 76.30 | 185 | ei kasv. | | | | x |
| C1 | 78.35 | -20 | sara/ruoko | x | | | |
| C2 | 78.15 | 0 | sara/ruoko | | x | | |
| C3 | 77.90 | 25 | ruoko/korte | | x | | |
| C4 | 77.70 | 45 | ruoko/kaisla | | | x | |
| C5 | 77.40 | 75 | ruoko/kaisla | | | | x |
| C6 | 77.00 | 115 | vesitatar | | | | x |
| C7 | 76.30 | 185 | ei kasv. | | | | x |

8.1.3 Tulokset

8.1.3.1 Sedimenttinäytteet

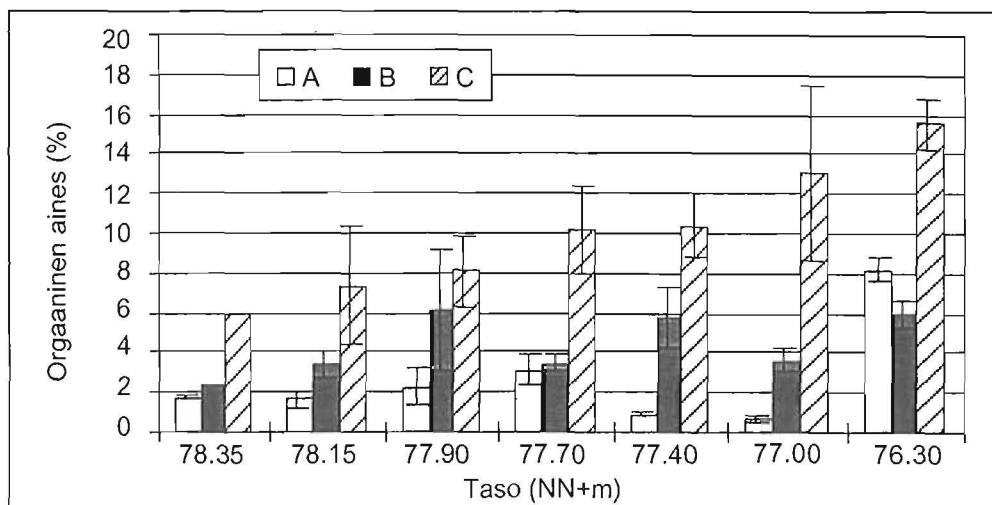
Sedimentin analysointi jaettiin kahteen eri kerrokseen, sedimentin päällä olevaan detrituskerrokseen (pääasiassa kuollutta puoliksi maatunutta kasviainesta) ja sen alapuolella olevaan maakerrokseen. Detrituskerroksen alla olevan maakerroksen laatu vaihteli eri sedimenttilinjojen välillä.

Linjalla A kuiva-aineen määrä kasvillisuusvyöhykkeessä oli yli 70 % ja laski 40 %:iin kasvillisuusvyöhykkeen jälkeen profundaalissa (NN+76,30 m). Linjalla B kuiva-aineen määrä 65 % laski mentäessä rannasta ulospäin 45 %:iin. Linjalla C kuiva-aineen määrä vaihteli voimakkaimmin ja oli selvästi alhaisin keskimäärin 43 %. Lisäksi kuiva-aineen osuus linjalla C eulitoraalissa (NN+78,35 m) oli alhainen 16 %.

Detrituskerroksen paksuus pieneni mentäessä rannasta ulospäin. Detrituskerros loppui viimeistään 115 cm syvyydessä, missä oli myös kasvillisuuden raja linjoilla A ja B. Detrituskerros oli selvästi paksumpi sedimenttilinjoilla A (ka. = 3,3 cm) ja C (ka. = 3,5 cm) kuin linjalla B (ka. = 1,3 cm).

Linjalla A maakerros oli pelkästään hiekkaa, jonka orgaanisen aineksen osuus on pieni (kuva 62). Orgaanisen aineksen määrä ei vaihdellut selvästi eri näytekertojen välillä ja oli pistettä A7 lukuunottamatta alle 4 %.

Linjalla B maakerroksessa oli pinnalla liejusavea ja sen alapuolella tiukkaa savea. Orgaanisen aineksen määrä vaihteli 2-6 % välillä (ka. = 4 %). Orgaanisen aineksen määrä oli suurin linjalla C (ka. = 10 %). Orgaanisen aineksen osuus 6 % kasvoi mentäessä rannasta ulospäin 15 %, mutta prosentuaaliset vaihtelut eri mitauskertoina pisteiden välillä olivat suuria.



Kuva 62. Orgaanisen aineksen suhteellinen määrä sedimenttilinjoilla kolmen näytteenottokerran keskiarvoina. Keskihajonnat palkkien päällä janoina.

Linjalla A C/N-suhde oli elokuussa hieman korkeampi (ka. = 13) kuin kesä- ja lokakuussa (ka. = 12). Ruovikon loppumisen jälkeen C/N-suhde kasvoi, joka johtui luultavimmin suovaltaiselta valuma-alueelta laskevan Äiniönjoen vaikutuksesta. Tämä sama näkyi myös lisääntyneenä orgaanisen aineksen määränä. Sedimenttilinjan B C/N-suhde laski mentäessä rannasta ulospäin. Kesäkuun näytteenottokerran C/N-suhde oli korkeampi (ka. = 13) kuin elo- ja lokakuun (ka. = 12). Sedimenttilinjalla C C/N-suhde oli linjoista korkein (ka. = 17). Detrituskerroksen C/N-suhde oli kaikilla linjoilla selvästi suurempi kuin C/N-suhde detrituskerroksen alapuolella.

Sedimenttilinjalla B pintasedimentin hapenkulutus $110 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ kasvoi $440 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ mentäessä 45 cm syvemmälle (NN+77,70 m). Muuten hapenkulutus pysyi tasaisena linjoilla A (ka. = $72 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) ja C (ka. = $107 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) ja kasvoi vasta uloimmalla pisteellä (NN+76,30 m) kasvillisuuden ulkopuolella linjalla A $190 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ja linjalla C $150 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Samaan aikaan orgaanisen aineksen määrä linjoilla lisääntyi.

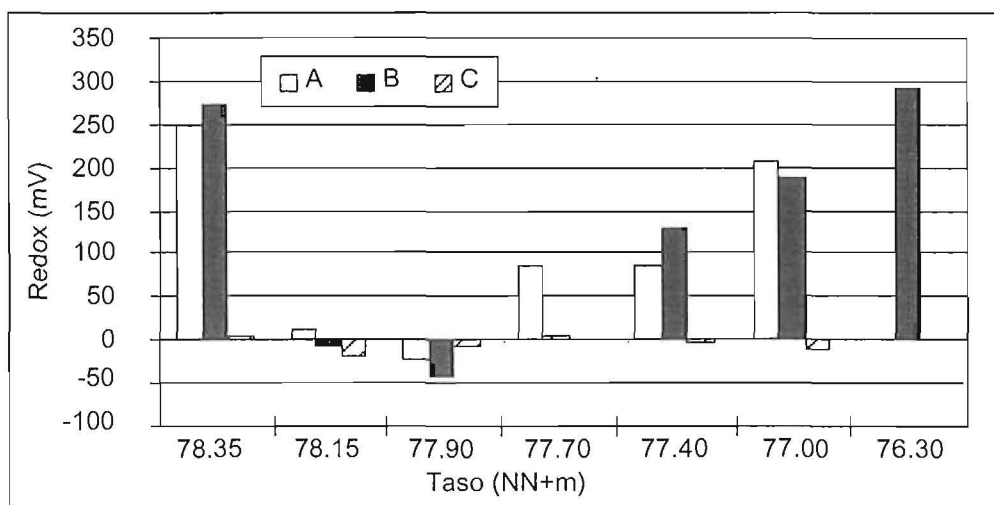
Redox-potentiaali sedimentin pinnassa oli alhaisimmillaan kaikilla linjoilla yläsublitoraalissa (-40 - (-5) mV). Se kasvoi syvemmälle mentäessä yli 150 mV:iin linjoilla A ja B, mutta pysyi linjalla C lähellä nollaa (ka. = -7 mV) (kuva 63).

Sedimenttilinjojen fosfaattivuo kuvaa fosfaatin kulkeutumissuuntaa tai fosfaatin suhdetta sedimentin pinnan yläpuolisen veden ja sedimentin huokosveden välillä. Fosfaattipitoisuudet olivat rantavedessä (NN+78,15 m) suurempia pohjassa kuin yläpuolisessa vedessä eli fosfaattivuon suunta oli ylöspäin (ka. = $26 \mu\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1} \text{ PO}_4\text{-P}$). Mentäessä sedimenttilinjoilla eteenpäin kääntyi fosfaattivuo yläpuolisesta vedestä kohti pohjaa.

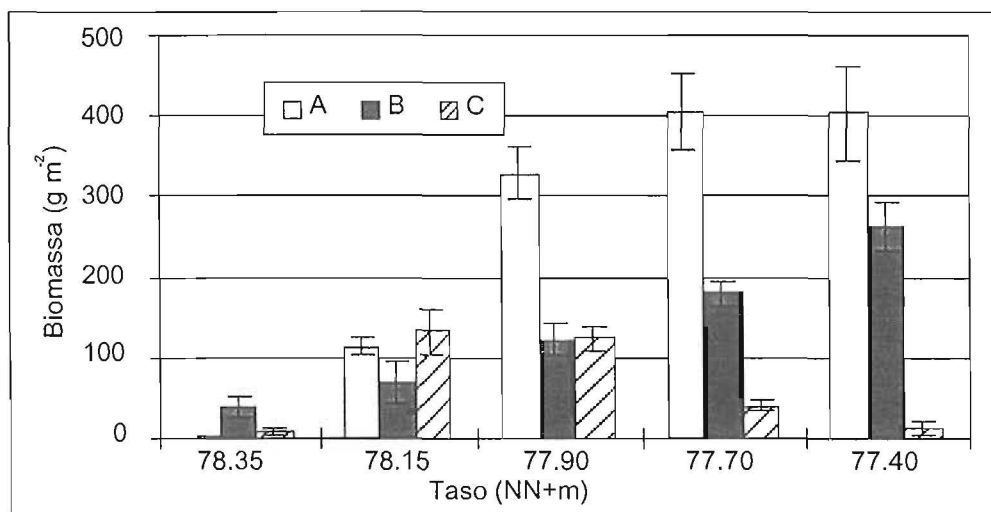
8.1.3.2 Kasvustojen ominaisuudet

Ruovikoiden tiheydet kasvoivat sedimenttilinjoilla mentäessä rannasta ulospäin, mutta linjalla C ruovikko 30 kpl m^{-2} harveni jo yläsublitoraalin alaosassa (NN+77,90 m) 6 kpl m^{-2} . Linjalla A tihein ruovikko sijoittui alasublitoraaliin (NN+77,70 m, 55 kpl m^{-2}). Linjalla B ruovikon tiheys ei muuttunut paljon sen jälkeen kun se tiheni yläsublitoraalissa (NN+78,15 m, 44 kpl m^{-2}).

Ruovikon maanpäällinen biomassa oli selvästi suurin linjalla A keskimäärin 251 gm^{-2} , kun se linjalla B oli 134 gm^{-2} ja linjalla C 64 g m^{-2} . Ruovikoiden biomassa kasvoi linjoilla A ja B rannasta ulospäin, mutta linjalla C ruovikon biomassa alkoi selvästi vähentyä alasublitoraalista lähtien (NN+77,70 m) (kuva 64).



Kuva 63. Redox-potentiaali sedimenttilinjoilla.

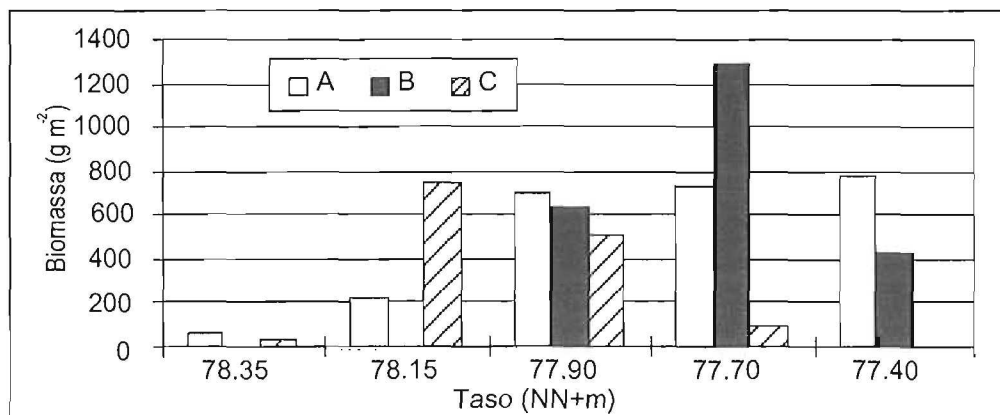


Kuva 64. Ruovikoiden maanpäällinen kuivabiomassa sedimenttilinjoilla. Keskihajonnat palkkien päällä janoina.

Maanalainen biomassa kasvoi linjalla A rannasta ulospäin ollen suurimmillaan viimeisellä mittauspisteellä alasublitoraalin alapuolella (NN+77,40 m, 777 g m⁻²). Linjalla B suurin biomassa oli alasublitoraalissa (NN+77,70 m, 1291 g m⁻²) ja linjalla C yläsublitoraalissa (NN+78,15 m, 747 g m⁻²). Linjalla A biomassa näytti olevan jakaantunut sublitoraalissa ja sen alapuolella tasaisesti. Linjalla B biomassamaksimin jälkeen alasublitoraalissa biomassa alkoi pienentyä. Linjalla C biomassasta suurin osa oli yläsublitoraalissa, jonka jälkeen biomassa kääntyi laskuun (kuva 65).

8.1.3.3 Pohjan laadun, rannan profiilin ja ruokokasvustojen välinen riippuvuussuhde

Pohjan laadun ja rannan profiilin välillä havaittiin riippuvuutta detrituksen paksuuden, detrituksen orgaanisen aineksen määrän ja veden syvyyden välillä. Syvyys korreloi myös järviruo'on korkeuden ja maanpäällisen biomassan kanssa. Ruovikon korkeus korreloi detrituksen orgaanisen aineksen määrän kanssa. Järviruo'on maanalainen- ja maanpäällinen biomassa korreloi järviruo'on tiheyden kanssa.



Kuva 65. Ruovikoiden maanalainen kokonaiskuivabiomassa sedimenttilinjoilla 0-50 cm syvyydvyöhykkeessä. Linjalta B ei tuloksia pisteistä NN+78,35 m, NN+78,15 m ja linjalta C pisteestä NN+77,40 m.

8.1.4 Tulosten tarkastelu

Yleisesti ollaan sitä mieltä, että makrofyyttien levinneisyyden määräävät fysiko-kemialliset tekijät (Barko & Smart 1981, Keddy 1983). Tosin biologisilla vuorovaikutuksilla voi olla myös suuri merkitys (Keddy 1983, Carpenter & Lodge 1986).

Van der Puttenin ym. (1997) mukaan järviruo'on biomassatuotanto pieni kun substraatti sisälsi yli 5,5 % orgaanista ainesta. Linjalla C orgaanisen aineen määrä vaihteli 6-16 % välillä ja biomassa oli selvästi linjoja A ja B pienempi. Petticrew & Kalff (1991) ovat päässeet vastaaviin tuloksiin juurakon huonontuneesta kasvuympäristöstä, joka myös toisaalta riippuu kasvillisuuden määrästä, orgaanisen aineksen kertyessä. Myös herbivorien laidunnus voi kasvaa suojaisessa paikassa aallokolta (Kvet & Hudec 1971). Järviruo'on kasvua voi haitata myös pohjan pehmeys, joka ei tarjoa riittävästi tukea kasvin ankkuroitumiseen pohjaan. Linjoilla A ja B ei varmaankaan ole kyse tästä, mutta linjalla C pohjan pehmeiden lisääntyessä voi ongelmia syntyä.

Sedimentin pinnan hapenkulutus pysyi linjoilla A ja C kasvillisuusvyöhykkeessä lähes muuttumattomana ja alkoi kasvaa vasta kasvillisuusvyöhykkeen jälkeen. Tähän voi olla syynä ilmaversoiskasvillisuus, jonka kautta tulee pohjaan happea. Varsinkin järviruo'on tiheä ritsomijuuristo voi peittää suuren alan pohjasta ja parantaa pohjan happiolosuhteita ympäristössään, vaikka pohjan yläpuolella seisovassa vedessä olosuhteet olisivat hapen suhteen heikot. Linjalla B hapenkulutus $100 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ kasvoi selvästi $400 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$:aan. Tämä voi johtua jo edellä mainitusta linjan B rehevämmistä olosuhteista. Autoktoninen sedimentoitunut planktonaines ja perifytonaines hajoavat nopeammin kuin ligniinipitoinen kasviaines. Tällöin autoktonisen aineksen hajotuksessa oleva mikrobitoiminta kuluttaa happea nopeammin sedimentin pinnassa. Rihmalevät saattavat myös lisääntyä voimakkaasti eutrofisissa oloissa ja olla tuhoavia ainakin pohjakaasvillisuudelle (Ostendorp 1989).

Fosfaattipitoisuudet olivat alhaisimpia hiekkapohjaisella linjalla A ja suurimpia kaikkein hienojakoisemmalla linjalla C. Myös muissa tutkimuksissa on todettu P-määrän lisääntyvän raekoon pienentyessä ja syvyyden lisääntyessä (Håkansson 1977). Koska fosfaattipitoisuudet olivat alhaisia ei fosfaatin liukenemista pohjasta todennäköisesti tapahdu ja tilanne voi olla jopa päinvastainen. Ainoastaan silloin, kun sedimentti on kyllästynyt fosforilla fosfaatin vapautumista saattaa esiintyä. Kairesalo ja Uusi-Rauva (1983, ref. Matilainen 1988) ovat todenneet, että kuollut kortedetritus voi aiheuttaa 300-kertaisen fosforikuormituksen litoraaliveteen kuin mitä aktiivisessa kasvuvaiheessa oleva kasvusto. Tästä samasta voi olla kyse ruokodetrituksen osalta.

Ruovikossa redox-potentiaali oli alhaisin lähellä rantaviivaa, missä ei ole aallokkoisuuden ja veden virtausten vaikutusta ja detrituksen määrä pohjalla on suurimmillaan. Rannasta ulospäin mentäessä detrituksen määrä pieneni ja veden vaihtuvuus parani, jolloin myös redox-olosuhteet paranivat. Linjalla C redox-potentiaali pysyi lähellä nollaa ja olosuhteet pelkistävinä koko linjan matkalla, johtuen pohjan runsaammasta orgaanisen aineksen määrästä. Kaikilla linjoilla olosuhteet olivat rantaviivalla raudan suhteen pelkistäviä, jolloin rauta esiintyy pääasiassa muodossa Fe^{2+} . Linjalla C olosuhteet pysyivät pelkistävinä kaikilla mittauspisteillä. Näissä olosuhteissa voi muodostua metabolian lopputuotteena raudan lisäksi muita fytotoksiineja kuten H_2S , HS^- , S^{2-} , Mn^{2+} , jotka aiheuttavat kovettumia ja muita rakenteita estämään kaasujen vaihtoa juurten ja varren välillä (Armstrong ym. 1996a, b, Allam & Hollis 1972, Jones 1972). Tämän seurauksena anaerobisen hajoituksen lopputuotteena syntyvät CH_4 ja CO_2 eivät pääse poistumaan järviruo'on varren kautta ilmakehään ja samoin ilmakehästä O_2 -kuljetus varren kautta juuristoon estyy. Brixin (1989) mukaan järviruo'olla kuolleet vielä pystyssä olevat edellisvuotiset versot voivat näytellä tässä prosessissa merkittävää roolia ja toimia kaasujen poistajina. Samoin paljon orgaanista ainesta sisältävällä pohjalla tämä kaasujen vaihto on selvästi runsaampaa kuin hiekkapohjalla. Kaasujen vaihto on myös riippuvainen ulkoisista tekijöistä kuten ilman kosteudesta, lämpötilasta ja valosta (Brix 1996).

Järviruoko kasvaa avoimilla rannoilla syvemmälle kuin suojaisilla rannoilla. Ilmiön syynä on se, että avoimilla paikoilla pohja on usein laadultaan hiekkaa, jolloin aallokon ansiosta happitilanne on parempi kuin suojaisten lahtien vähähappisilla liejupohjilla (Weisner 1987). Ritsomijuuristossa olevan hapenkonsentraatio myös pienenee mentäessä sedimentissä syvemmälle (Brix & Schierup 1985). Tätä voi korostaa pohjan pelkistävät olosuhteet, jolloin juuriston hapenkulutus kasvaa (Weisner 1990). Hapenpuutteen kannalta vuodenaikana on myös merkitystä. Alkukesästä, jolloin ritsomijuuriston hiilihydraattivarasto on alhaisimmillaan, voi hapenpuute aiheuttaa enemmän kuolevuutta ritsomijuuristossa (Weisner 1990) eli järviruoko reagoi voimakkaimmin hapenpuutteeseen. Tämän perusteella järviruo'olle vedenkorkeuden kannalta kriittisimpään aikaan alkukesästä, Päijänteellä vesi on säännösteltynä noin 30 cm luonnonmukaista alempana.

Kasvin kyky selvitä avoimissa kasvupaikoissa riippuu myös siitä kuinka paljon se kestää aallokkoisuuden aiheuttamaa mekaanista stressiä. Linjan C suojaisuus näkyi kasvillisuuden monimuotoisuutena mm. uposlehtisten vyöhykkeenä ilma-versoisvyöhykkeen jälkeen sekä järvikaislan esiintymisenä. Suojaisuus siis mahdollisti muiden ei niin hyvin mekaanista rasitusta kestävien lajien esiintymisen. Coops (1996) mittasi järviruo'on verson taipuisuuden kestävyyttä vertaamalla sitä järvikaislaan. Ruoko oli selvästi kestävämpi, sen taipuisuuden kestävyys oli 4,93 Gpa kun se järvikaislalla oli 0,25 Gpa. Varren taipuisuuden kestävyys parani kesän mittaan, nuoret versot olivat alkukesästä heikoimpia.

8.1.5 Johtopäätökset

Ruovikko ja varsinkin sen edellisvuotinen kasvusto estää tehokkaasti vedenvirtaukset rantavyöhykkeelle. Päijänteellä missä rannat ovat alunperin suurelta osin karuja, vähäravinteisia, avoimia ja pohjanlaadultaan hiekkaa tarjoavat hyvän kasvualustan ruovikoille. Ne saavat kilpailuedun kunnes orgaanisen aineksen kasaantuessa ja kasvuympäristön muuttuessa alkaa kasvanut orgaanisen aineksen ja hajoitustoiminnan määrä muuttamaan olosuhteita pelkistävimiksi ja hajoitustoiminnan suhteen anaerobisiksi. Pelkistävät olosuhteet eivät sinänsä estä järviruokoa kasvamasta. Armstrong ym. (1990) on todennut että järviruoko menestyy maaperässä, jossa redox-potentiaali on keskimäärin -250 mV. Ongelmia syntyy,

kun pohjan pelkistävät olosuhteet muuttavat anaerobisen hajoitustoiminnan hapetus-pelkistys reaktioissa metalleja ja yhdisteitä fytotoksiineiksi kuten H_2S , HS^- , S^{2-} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , jotka kykenevät aiheuttamaan järviruo'on varteen kovettumia estäen kaasujen vaihdon ilmakehän ja maavarsiston välillä. Tällöin järviruo'on kasvu voi heiketä ja se häviää lajeille, jotka hyötyvät kasvavasta ravinteisuudesta, pohjan pehmeystä ja suojaisuudesta, jota ruovikko tarjoaa veden virtauksia ja aallokkoisuutta vastaan. Pohjanlaadulla on siten tärkeä merkitys järviruo'on elinympäristönä.

Säännöstelyn vaikutus alentuneen alkukesän vedenkorkeuden kautta siirtää ruokovyöhykkeen ulkorajaa kauemmaksi rannasta. Nouseva kesävesi taas hidastaa järviruo'on kilpailijoita kuten järvikortetta kasvamasta. Toisaalta lisääntynyt kuolleen kasviaineksen määrä pohjalla, joka ei päädy rantapenkereelle hapellisiin olosuhteisiin voi haitata järviruo'on kasvua pohjan pehmenemisen kautta ja samalla mataloittaa rantavyöhykettä. Vedenlaatu voi olla ruovikossa heikko, koska vaihtuvuus on huono, kuollut kasviaines kuluttaa runsaasti happea sekä suurikokoiset versot heikentävät valaistusolosuhteita. Veden syvyys oli ainoa tekijä, joka korreloi tilastollisesti merkittävästi ruokobiomassan kanssa. Pohjan jäätyminen ei näyttänyt vaikuttaneen järviruo'on kasvuun. Enemmän voi olla merkitystä sillä, että jäät eivät välttämättä leikkaa edellisvuoden kasvustoa nurin, mikä auttaa maavarsiston kaasujenvaihtoa ilmakehän kanssa.

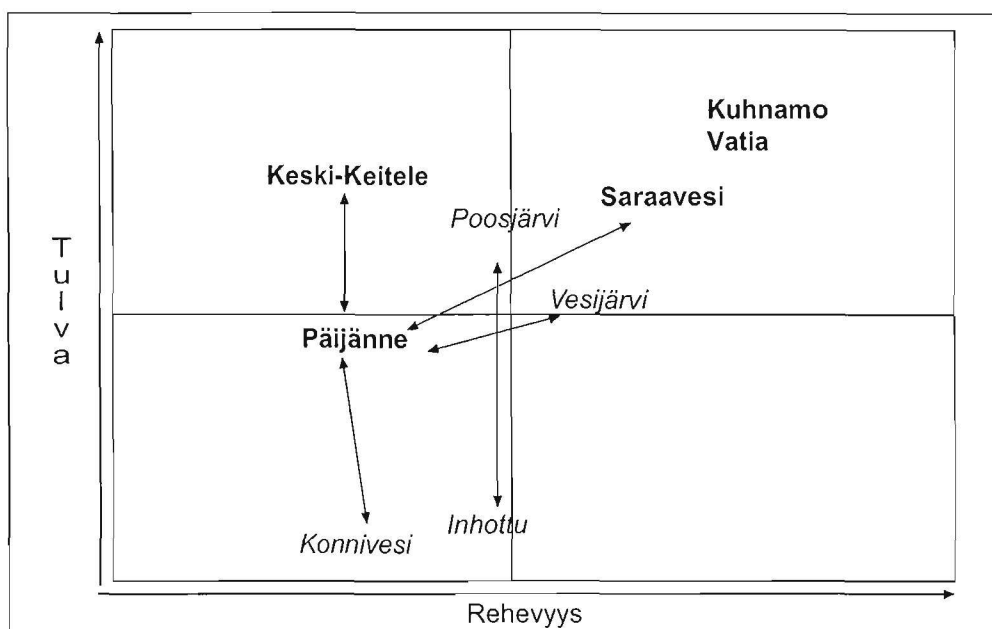
8.2 Vertailututkimus ruovikoiden esiintymisestä eri rehevyystason ja erilaisen kevättulvan omaavilla järvillä

8.2.1 Yleistä

Keiteleen käyttäminen vertailujärvenä osoitti melko selkeästi, että ruovikon määrä oli huomattavasti suurempi ja umpeenkasvu oli selvästi voimakkaampaa Päijänteellä. Tuloksia tarkastellessa tuli kuitenkin huomioida, että vaikka veden laatu oli nykyisin suurimmalla osalla Päijännettä hyvin samanlainen kuin Keiteleellä, oli kuitenkin kuormitushistoria järvillä hyvin erilainen. Päijänteen veden laatu oli ollut etenkin 70-luvulla huomattavasti huonompi kuin Keiteleellä, jossa ei suuria muutoksia ole ollut havaittavissa. Erityisesti umpeenkasvuindikaattorit ovat luonnollisesti hyötyneet voimakkaasti rehevästä jaksosta, jonka ansiosta ainakin orgaanista ainesta on kertynyt pohjasedimenttiin runsaasti. Myös ruoko on voinut saada rehevöitymisestä selvää kilpailuhyötyä, joka puolestaan voi johtaa virheeliseen tulkintaan nykytilanteesta. Havaintojen varmistamiseksi valittiin joukko rehevyyden ja tulvan suhteen erilaisia järviä, joilta oli jo vanhoja aineistoja (kuva 66). Lisäksi Päijänteellä ja Keiteleellä tehdyt maastotutkimukset toistettiin suppeana Äänekosken reitin alapuolisessa Vatiassa, Kuhnamossa ja Saraavedessä elokuussa 1998.

8.2.2 Äänekosken alapuolisten järvien havainnot

Äänekosken alapuolinen järviolue koostuu peräkkäin sijaitsevista Kuhnamosta, Vatiasta ja Saraavedestä. Vatian ja Kuhnamon vedenkorkeuden vaihtelu on luonnonmukaista, mutta Saraaveden pintaa säännöstellään siten, että vedenpinta on keväistä tulvaa lukuunottamatta hyvin tasainen (kuva 67). Kuhnamoon purkautuu hyvälaatuista vettä Keiteleestä ja ravinnerikasta, humusväritteistä vettä Saarijärven reitiltä. Kuhnamo laskee Kuusaankoskien kautta Vatiaan, josta vedet virtaavat Saraaveteen, johon tulee myös kirkasta ja vähäravinteista vettä Rautalammin reitiltä. Kuhnamo toimii myös Äänekosken metsäteollisuuden jätevesien vastaan-



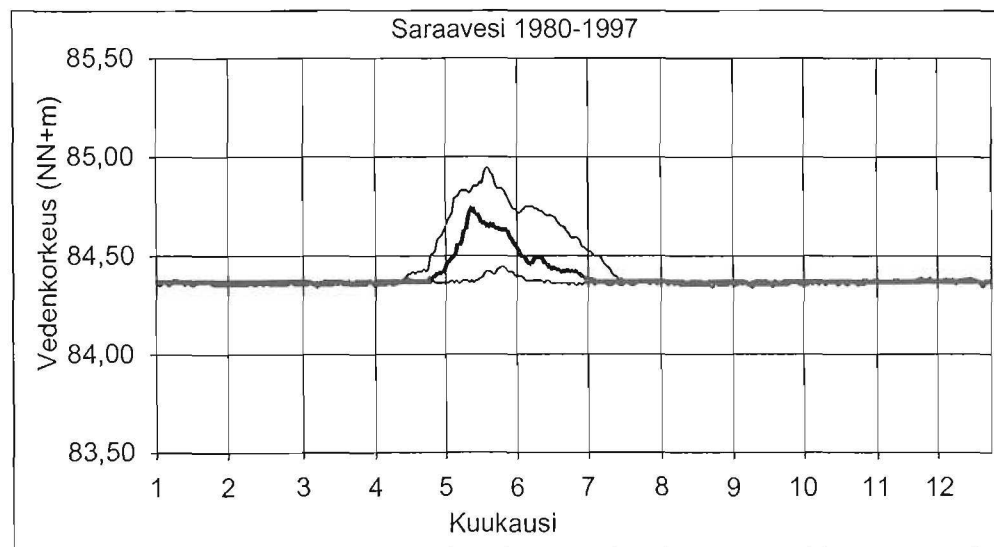
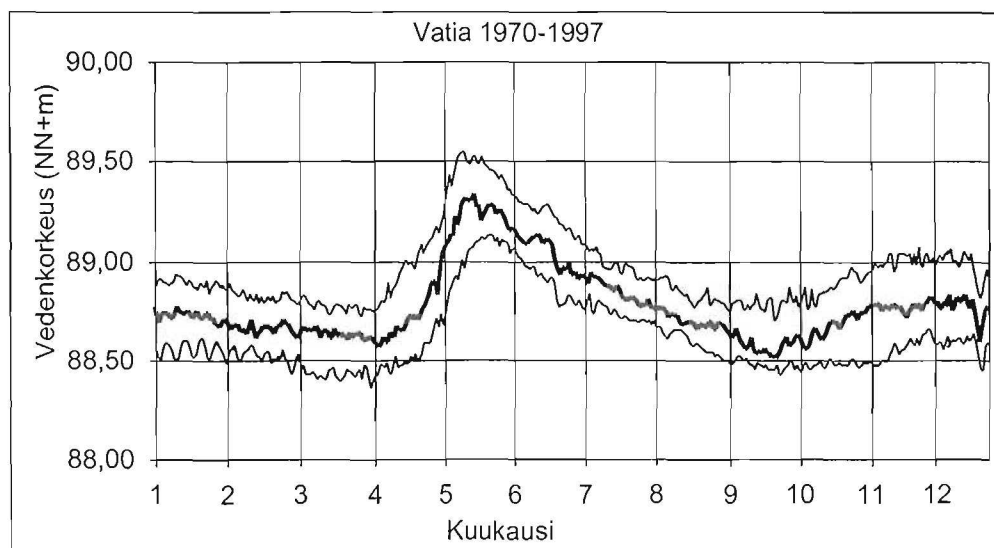
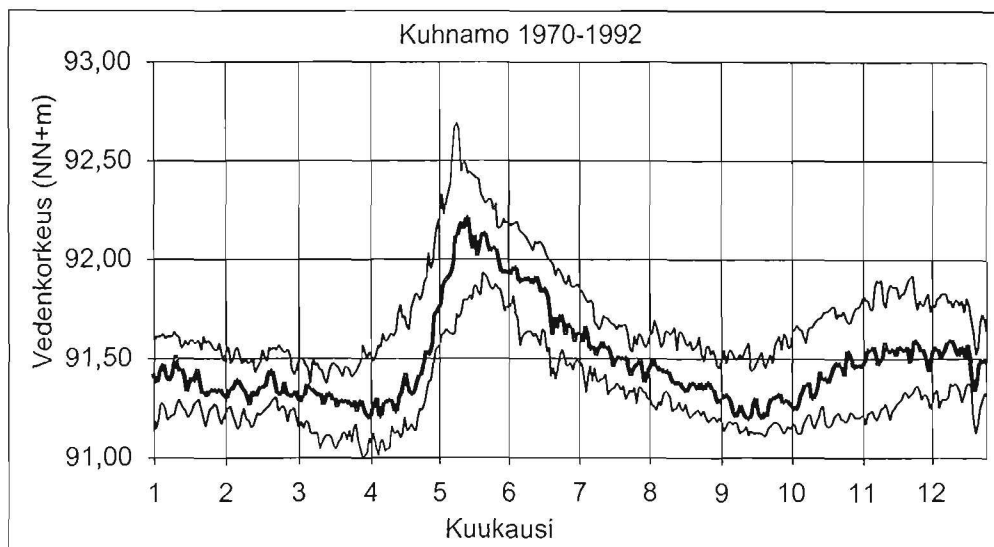
Kuva 66. Tutkimuksen kohdejärvien sijoittuminen kevättulvan ja rehevyyden suhteen. Lihavoidut = tämän tutkimuksen maastokohteet, kursivoidut = aikaisempien tutkimusten aineisto.

ottovesistönä. Kuhnamon ja sen alapuolisen vesistön tila on ollut erittäin huono erityisesti 1970-luvun lopulla (Konttinen 1998). Metsäteollisuuden jätevesien puhdistuksen parannuttua on myös vesistön kuitenkin viimeisen vuosikymmenen aikana huomattavasti parantunut, mutta esimerkiksi kokonaisfosforiarvot ovat edelleen melko korkeita (taulukko 17). Vesistön rehevöitymishistoria on siis aikalailla samankaltainen kuin Päijänteellä, mutta vedenkorkeusvaihtelultaan Kuhnamo ja Vatia muistuttavat selvästi Keitelettä. Saraavedelle kevättulvineen ja luonnottoman tasaisine kesävedenpintoineen ei sen sijaan löydy vertailukohdetta. Äänekosken alapuolista vesistöä on tutkinut sangen perusteellisesti myös Pogreboff (1992) ja hänen tutkimustensa perusteella merkittävin muutos kasvillisuudessa on tapahtunut 1990-luvun alussa, jolloin monien rehevyyttä ilmentävien lajien määrä on oleellisesti vähentynyt.

Tutkimuskohteiksi valittiin samankaltaisia suojaisia lahtia kuin Päijänteeltä ja Keiteleeltä. Järvien vähäisen pinta-alan vuoksi valittujen lahtien määrä jäi pieneksi ja lähemmän maastotarkastelun avulla lopulliseksi kohdemääräksi valittiin 20 linjaa (taulukko 17). Kaikki tehdyt linjat olivat ns. erityislinjoja, joiden tekeminen on selostettu yksityiskohtaisesti menetelmissä. Valitut linjat olivat keskimäärin hieman suojaisimpia, mutta toisaalta myös loivempia kuin Päijänteellä.

Taulukko 17. Kuhnamon, Vatian ja Saraaveden erityislinjojen ominaisuuksia sekä veden keskimääräisiä kokonaisfosfori- ja väripitoisuuksia avovesikaudella järvien luusuasta mitattuna 1990 (Pogreboff 1992).

| | Linjoja (kpl) | Fetch (m) | muoto 1 km (astetta) | muoto 0,5 km (astetta) | Kok-P ($\mu\text{g/l}$) | Veden väri (mg Pt/l) |
|-----------|------------------|--------------|-------------------------|---------------------------|------------------------------|-------------------------|
| Kuhnamo | 7 | 443 | 13 | 32 | 32 | 95 |
| Vatia | 7 | 814 | 21 | 46 | 32 | 105 |
| Saraavesi | 6 | 850 | 30 | 58 | 31 | 55 |



Kuva 67. Kuhnamon (yläkuva), Vatian (keskikuva) ja Saraaveden (alakuva) vedenkorkeuden keskiarvo (paksu viiva) jaksolla 1987-1995. Yläkvartiili (75%) ja alakvartiili (25 %) merkitty ohuella viivalla.

Tarkasteltaessa vedenkorkeuden vaihteluvyöhykkeitä havaitaan niiden olevan leveämpiä verrattuna Päijänteeseen ja Keiteleeseen (taulukko 18). Eulitoraali on Kuhnamolla ja Vatiassa laajempi kuin Keiteleellä. Huomattavaa on myös sublitoraalin kapeus Saraavedellä, koska vedenkorkeuden vaihtelu on hyvin vähäistä avovesikaudella.

Rannan eri vyöhykkeiden ominaisuuksia on tarkasteltu taulukossa 18. Verrattaessa tuloksia Päijänteen ja Keiteleen havaintoihin on otettava huomioon Äänekosken alapuolisten järvien aineiston vähäisyys, jolloin sattuman vaikutus voi nousta hyvin suureksi. Tulva on kaikissa kohdejärvissä voimakas, joten myös siitä hyötyvän sarakasvillisuuden määrä on suuri. Kivikkoisia eulitoraaleja ei ole ollenkaan, ja turpeen osuus litoraalin alasta on Saraavettä lukuunottamatta miltei 100 prosenttia. Myös turpeen keskimääräinen paksuus ja pohjan pehmeys eulitoraalilla on selvästi suurempi kuin muilla tutkimusjärvillä. Äänekosken reitin järvien sublitoraalilla on pohja myös hyvin pehmeää, joka voi indikoida ainakin metsäteollisuuden jätevesien orgaanisen aineksen päästöjä.

Rantavyöhykkeen kasvillisuuden ominaisuuksia tarkasteltaessa voidaan todeta myös tulvan suuri vaikutus Äänekosken reitin alapuolisessa vesistössä; tulvaa kestävien kasvien kasvillisuusindeksi arvo on huomattavasti suurempi, kun taas kuivuutta kestävien kasvien määrä on pienempi kuin muissa järvissä (taulukko 19). Yleistä rehevöitymistä kuvaava koko kasvilajiston kasvillisuusindeksi Vatiassa ja Saraavedellä on samaa suuruusluokkaa kuin Päijänteellä, mutta Kuhnamolla vain Keiteleen tasoa. Sen sijaan rehevöitymistä ilmaisevan lajiston keskimääräinen yleisyys on merkittävästi suurempi Äänekosken alapuolisessa vesistössä Päijänteeseen ja Keiteleeseen verrattuna. Monet rehevyyden indikaattorit ovat runsau-

Taulukko 18. Rannan eri vyöhykkeiden ominaisuuksia Kuhnamossa, Vatiassa ja Saraavedessä verrattuna Päijänteen ja Keiteleen rantavyöhykkeeseen. Eulitoraalin ja sublitoraalin pysyvyydet laskettu Äänekosken reitin järvistä avovesikauden (10.5.-30.9.) 1980-1991 aineistosta ja Päijänteellä ja Keiteleellä 1971-1995 aineistosta.

| | Vyöhykkeen korkeus (cm) | | Eulitoraalin ominaisuuksia | | | Pohjan pehmeys (cm) | | |
|---------------|-------------------------|--------------|----------------------------|-------------------|----------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| | Eulitoraali | Sublitoraali | Kivikon osuus (%) | Turpeen osuus (%) | Turpeen paksuus (cm) | Eulitoraali | Ylin sublitoraali | Alin sublitoraali |
| Kuhnamo | 84 | 37 | 0 | 100 | 19,5 | 5,0 | 5,5 | 5,3 |
| Vatia | 74 | 37 | 0 | 99 | 11,4 | 6,6 | 6,4 | 5,7 |
| Saraavesi | 60 | 10 | 0 | 76 | 16,6 | 5,0 | 7,9 | 6,5 |
| Etelä-Päij. | | | 43 | 54 | 9,1 | 2,8 | 4,4 | 3,9 |
| Keski-Päij. | 40 | 61 | 40 | 49 | 11,6 | 4,0 | 4,8 | 6,9 |
| Pohjois-Päij. | | | 30 | 44 | 11,4 | 3,6 | 4,1 | 4,0 |
| Keitele | 44 | 29 | 51 | 20 | 8,5 | 0,3 | 2,5 | 4,2 |

Taulukko 19. Suojaisten lahtien kasvillisuuden ominaisuuksia Kuhnamossa, Vatiassa ja Saraavedessä verrattuna Päijänteen ja Keiteleen rantavyöhykkeeseen. Laskelmissa 0-havainnot eivät ole mukana.

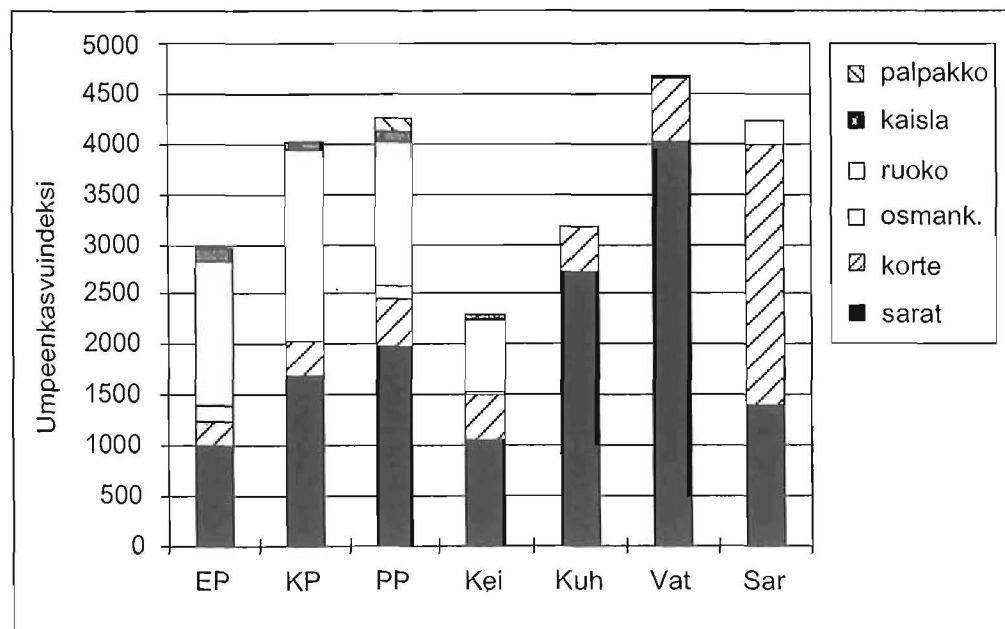
| | Kasvillisuusindeksi | | | Keskimääräinen yleisyys (%) | |
|------------------|---------------------|-----------------|--------|-----------------------------|------------------|
| | Kuivuutta kestävät | Tulvaa kestävät | Kaikki | Eutrofia ind. | Oligotrofia ind. |
| Kuhnamo | 850 | 5170 | 8909 | 21,5 | 14,0 |
| Vatia | 1070 | 6624 | 12454 | 57,0 | 29,0 |
| Saraavesi | 788 | 5160 | 10558 | 0,0 | 16,0 |
| Etelä-Päijänne | 2037 | 2927 | 11811 | 6,8 | 43,8 |
| Keski-Päijänne | 2369 | 4425 | 14192 | 8,0 | 30,0 |
| Pohjois-Päijänne | 1894 | 3965 | 13353 | 6,9 | 23,7 |
| Keitele | 1283 | 3271 | 8950 | 3,7 | 35,3 |

deltaan sangen vähäisiä, joten niiden esiintyminen ei siten nosta merkittävästi kasvillisuusindeksin arvoa. Toisaalta myös aineiston vähäisyys Äänekosken reitillä voi tuoda tiettyä epävakautta tuloksiin.

Päijänteellä ja Keiteleellä todettiin umpeenkasvuindeksin kuvaavan kaikista parhaiten eroja rantavyöhykkeen umpeenkasvun määrässä (kts. kpl. 6.2.5). Äänekosken alapuolisissa järvissä umpeenkasvuindeksin määrä oli selvästi pienempi kuin Päijänteellä, mutta hieman suurempi kuin Keiteleellä (kuva 68). Eriteltäessä eri lajiston osuutta umpeenkasvun indikaattorin arvosta voidaan havaita ruokojen puuttuvan Saraavettä lukuunottamatta kokonaan Äänekosken järvistä. Myös muiden ilmaversoisten (osmankäämit ym.) osuus on sangen pieni. Sen sijaan kortetta tavataan runsaasti erityisesti Saraavedessä. Indeksien arvo koostuu suurelta osin saroista, jotka ovat Äänekosken järvillä hyvin yleisiä. Mikäli saroja ei otettaisi huomioon olisi umpeenkasvu huomattavasti vähäisempää Äänekosken järvillä.

Äänekosken alapuolisten järvien litoraalityöhykkeen kasvipeite eroaa merkittävästi Päijänteen ja Keiteleen rantavyöhykkeestä. Runsaasta tulvasta hyötyvästä saraikosta johtuen erityisesti eulitoraali on voimakkaasti kasvittunut ja rantavyöhyke on hyvin pehmeä. Vesistön suuremmasta rehevyydestä johtuen rehevyyttä indikoivien kasvien määrä on huomattavasti suurempi, mutta toisaalta yleinen umpeenkasvuindeksi on selvästi alhaisempi kuin Päijänteellä ollen samaa luokkaa Keiteleellä mitattujen arvojen kanssa. Erityisen merkittävää on ruovikon miltei täydellinen puuttuminen tutkimusjärveltä.

Tulokset osoittavat umpeenkasvun olevan hyvin voimakasta myös Äänekosken alapuolisessa vesistössä, mutta se perustuu suurelta osin tulvasta hyötyvän saraikon yleisyyteen. Sen sijaan ruovikko ei ole juurikaan saanut jalansijaa em. vesistössä, joka voi johtua osin tulvan esiintymisestä, osin taas pohjan suuresta pehmeystä ruovikon pääkasvualueella sublitoraalisissa.



Kuva 68. Rantavyöhykkeen umpeenkasvuindikaattorien arvo Äänekosken alapuolisissa järvissä (Kuh = Kuhnarn, Vat = Vatia, Sar = Saraavesi) verrattuna Päijänteen (EP = Etelä-Päijänne, KP = Keski-Päijänne, PP = Pohjois-Päijänne) ja Keiteleen (Kei) vastaaviin arvoihin.

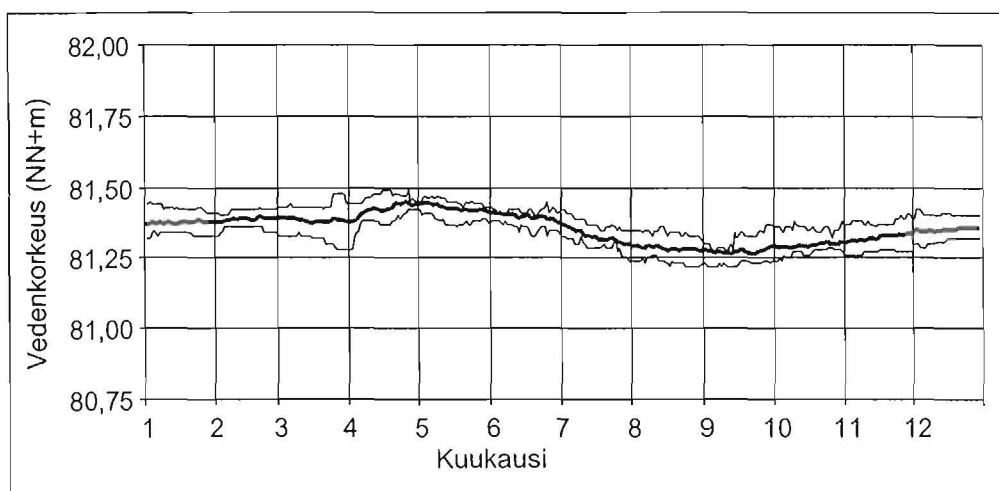
8.2.3 Lahden Vesijärvi

Päijänteen ja sen eteläpuolella sijaitsevan Vesijärven kasvillisuutta vertailtiin Etelä-Päijänteen kasvillisuuteen. Vertailun tulos on kuvattu yksityiskohtaisesti Lammin (1998) muistiossa. Vesijärven pohjoisosa muistuttaa rantatyypeiltään ja maisemaltaan Vesijärven osista eniten Päijännettä. Vedenlaadun suhteen Vesijärvi on huomattavasti rehevämpi ja lisäksi sen vedenkorkeutta ei säännöstellä. Pienialaisesta valuma-alueesta johtuen vedenpinnan vaihtelu on Vesijärvellä hyvin vähäistä, eikä tulva nouse kuin 10-20 senttiä kesän vedenpinnan yläpuolelle (kuva 69).

Vertailussa tarkasteltiin vain litoraalivyöhykkeen (uloin syvyysraja n. 120 cm keskivedenpinnasta) kasvillisuutta, jota syvemmälle Päijänteen kasviaineisto ei ulotu. Pyrkimyksenä oli selvittää, millaisia eroja on Päijänteen ja Vesijärven kasvillisuudessa, ja johtuvatko erot Päijänteen säännöstelystä. Vesijärven kasvillisuus on huomattavasti monipuolisempi kuin Päijänteen. Jotta tulokset eivät tämän takia vääristy, keskitytään vertailussa ns. umpeenkasvun ilmentäjälajeihin, jotka kasvavat kaikki sekä Vesijärvellä että Päijänteellä.

Päijänteellä ja Vesijärvellä käytetyt menetelmät poikkeavat toisistaan. Päijänteen kasvillisuuslinjoilla jokaiseen vyöhykkeeseen on tehty viisi neliömetrin suurista näyteruutua, joiden kasvilajisto ja kasvien peittävyysprosentit on selvitetty. Vesijärvellä linjojen kasvillisuutta on kuvattu näyteruutumenetelmällä aina kun vesi on syventynyt 10 cm tai kun kasvillisuus on selvästi muuttunut paitsi jyrkillä rannoilla, joissa näyteväli on ollut 1 m. Kasvilajien runsaus näytepaikoilta on määritetty viisiportaisella asteikolla, joka perustuu versojen runsauteen näytealalla. Kasvivertailuun otettiin Vesijärveltä mukaan linjat, joissa litoraalivyöhykkeellä oli vähintään 10 näytepaikkaa. Kasvien runsausindeksit (1-5) muunnettiin peittävyysprosentteiksi seuraavasti: 1 = 1 %, 2 = 3 %, 3 = 10 %, 4 = 30 %, 5 = 60 %.

Vesijärven vertailulinjat jaettiin veden syvyyden mukaan vastaaviin vyöhykkeisiin kuin Päijänteellä: eulitoraali (pinnan taso NN+ 81,45-81,27 m), ylin sublitoraali (NN+ 81,28-81,15 m) ja alin sublitoraali (NN+ 81,16-80,65 m). Vyöhykkeet laskettiin vuosien 1987-1997 vedenkorkeusarvojen perusteella käyttäen avovesikautena 10.5.-30.9. välistä jaksoa. Eri litoraalivyöhykkeen kasvillisuutta tarkasteltiin erikseen. Umppeenkasvun ilmentäjälajeiksi luokiteltiin viiltosara (*Carex acuta*), pullosara (*Carex rostrata*), luhtasara (*Carex vesicaria*), järvikorte (*Equisetum fluviatile*),



Kuva 69. Vesijärven vedenkorkeuden keskiarvo (paksu viiva) jaksolla 1987-1995. Yläkvartiili (75 %) ja alakvartiili (25 %) on merkitty ohuella viivalla.

ruokohelpi (*Phalaris arundinacea*), järviruoko (*Phragmites australis*), järvikaisla (*Schoenoplectus lacustris*), rantapalpakko (*Sparganium emersum*), kapeaosmankäämi (*Typha angustifolia*) ja leveäosmankäämi (*Typha latifolia*).

Vesijärven aineisto on kerätty vedenlaadun muutoksista aiheutuvien kasvillisuuden muutosten tarkastelua varten. Tämän takia eulitoraalissa sijaitsevia näytepaikkoja on melko vähän (yleensä 1-3/linja). Vertailulinjoilla eulitoraalin näytteitä on yhteensä 21 kpl (Päijänteeltä 100 kpl). Koska vertailulinjat sijaitsevat eri tyyppisillä rannoilla, on aineistoa tulkittava varovasti.

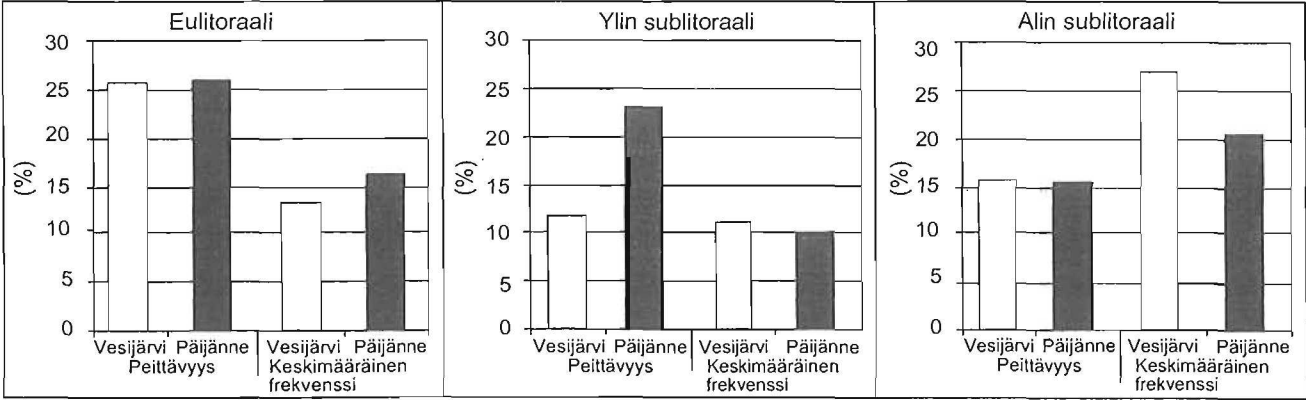
Eulitoraalin kasvillisuus Vesijärvellä ja Päijänteellä osoittautui hyvin erilaiseksi. Umpeenkasvun ilmentäjälajien peittävyys on molemmissa aineistossa keskimäärin 26 % (kuva 70), mutta lajisto on erilainen (Liite 8/1). Päijänteellä tärkein umpeenkasvua aiheuttava laji on viiltosara, jota Vesijärven näytelinjoilta ei tavattu ollenkaan. Vesijärvellä sen ”tilalla” kasvaa pullosara, jota puolestaan ei tavattu Päijänteen näytelinjojen eulitoraalista. Umpeenkasvun ilmentäjälajeista vain järviruoko on runsas sekä Vesijärvellä että Päijänteellä. Vesijärven linjojen eulitoraalissa sen peittävyys on kaksinkertainen Päijänteeseen verrattuna.

Runsasravinteisten paikkojen haarapalpakko (*Sparganium erectum*) sekä osmankäämit *Typha angustifolia* ja *T. latifolia* ovat tavallisia vain Vesijärven eulitoraalissa. Vesijärvelle tyypillisiä ovat myös irtokellujat ja -keijukat pikkulimaska (*Lemna minor*), isolimaska (*Spirodela polyrrhiza*), ristilimaska (*Lemna trisulca*) ja sorsansammal (*Ricciocarpus natans*), jotka ovat runsasravinteisten, suojaisten rantojen kasvilajeja.

Vertailun perusteella eulitoraalin kasvillisuuden rakenteeseen ja lajikoostumukseen on Vesijärvellä vaikuttanut ennen muuta veden ravinteisuus. Päijänteellä vedenpinnan vaihtelu todennäköisesti vaikuttaa kasvillisuuden rakenteeseen paljon enemmän kuin Vesijärvellä, jossa pinnan vaihtelu on vähäistä. Esimerkiksi viiltosaran runsaus Päijänteellä saattaa liittyä säännöstelyyn, koska laji kestää hyvin rantojen kulutusta ja ilmeisesti pullosaraa paremmin ajoittaista jäämistä kuivalle maalle.

Ylimmän sublitoraalin kasvillisuuden selkein ero Vesijärven ja Päijänteen välillä on järviruoko’ on runsaus Päijänteellä: järviruoko’ on peittävyys Päijänteen ylimmässä sublitoraalissa on seitsenkertainen Vesijärveen verrattuna ja frekvenssi näyteruuduilla viisinkertainen (Liite 8/2). Umpeenkasvun ilmentäjälajien peittävyys Päijänteen ylimmässä sublitoraalissa on 23 %, mutta Vesijärvellä vain 12 % (kuva 70). Ero johtuu pääosin järviruoko’osta. Umpeenkasvun ilmentäjälajien frekvenssi näyteruuduilla oli yhtä suuri Päijänteellä ja Vesijärvellä.

Järviruoko’ on runsausero johtuu kasvillisuuden vyöhykkeisyydestä. Vesijärvellä ruovikko on rantaviivan tuntumassa monin paikoin tiheä, maatuva kasvusto. Sen ulkopuolella noin 40-70 cm:n syvyydessä ruokoa on vähän tai se voi puuttua ko-



Kuva 70. Umpeenkasvun ilmentäjälajien peittävyys (%) ja keskimääräinen frekvenssi (%) Vesijärvellä ja Päijänteellä.

konaan. Syvempänä järviruokoa on jälleen runsaasti, kunnes kasvusto loppuu 1,5-2 metrin syvyydessä. Ruo'oton aukko sijaitsee siinä kohdassa, johon aallokko ja jää työntävät keväällä edellisvuotisista, ulompana kasvaneita ruo'onkorsia. Kasautuneen kasviaineksen päällä kasvaa usein tiheä "matto" pohjaan juurtumattomia vesikasveja kuten upposirppisammalta (*Drepanocladus tenuinervis*), ristilimaskaa ja vesiruttoa (*Elodea canadensis*), jotka yhdessä lahoavan kasviaineksen kanssa estävät järviruo'on kasvun. Päijänteellä tällaiset kasautumisvyöhykkeet näyttävät yleensä puuttuvan sublitoraalista. Kasautuvaa kasviainestakin on Päijänteellä huomattavasti vähemmän kuin Vesijärvellä, jossa matalat ranta-alueet ja kasvillisuusvyöhykkeet ovat laajoja. Alhaisen vedenpinnan takia aines luultavasti jää Päijänteellä alemmaksi ja leviää ehkä laajemmalle alueelle kuin Vesijärvellä.

Umpeenkasvun ilmentäjälajeja kasvaa Vesijärven ja Päijänteen alimmassa sublitoraalisissa kolme, järviruoko, järvikorte ja järvikaisla. Lajit ovat yhtä runsaita molemmilla alueilla (Liite 8/3), mutta Vesijärvellä niitä tavattiin näyteruuduilla huomattavasti useammin kuin Päijänteellä (kuva 70). Umpeenkasvun ilmentäjälajien osuus alimman sublitoraalin kasvien peittävyyydestä oli Päijänteellä suunnilleen puolet, Vesijärvellä vain kolmannes. Ero johtuu pääosin uposkasvien suuremmasta määrästä Vesijärvellä.

Litoraalityöhykkeen kasvillisuudessa ja umpeenkasvuindikaattoreiden lajikoostumuksessa ja runsaudessa on Päijänteen ja Vesijärven välillä selkeitä eroja. Erot ovat selvimmät eulitoraalisissa (lajikoostumus) ja ylimmässä sublitoraalisissa (järviruo'on runsaus). Alimman sublitoraalin kasvillisuudessa erot ovat vähäisemmät ja johtuvat Vesijärven Päijännettä paljon rikkaammasta uposkasvillisuudesta. Eulitoraalisissa järviruo'on peittävyys on Vesijärvellä selvästi suurempi kuin Päijänteellä. Alimmassa sublitoraalisissa se on yhtä suuri.

Vesijärvellä voidaan todeta kevättulvan olevan niin vähäinen, että se ei pysty puhdistamaan rantavyöhykettä edellisvuotisesta kasviaineksestä. Sensijaan tulva, jää ja aallokko kasaavat kasvijätettä rantaniittyjen reunoihin ja mataliin vesiin tiheiden rantaruovikoiden taakse. Kuollut kasvijäte onkin yleensä hyvin huono kasvualusta ruovikolle, joten ruovikon tiheys tässä vyöhykkeessä jää hyvin alhaiseksi. Vain hyvin niukkakasvisilla rannoilla jää ja kevättulva siirtävät menneenvuotista kasviainesta ylös rannalle. Kevättulva ei myöskään näytä estävän rantojen rehevöitymistä, vaan edellisvuotinen keväällä kasautunut kasviaines muodostaa monin paikoin pitkiä rannan suuntaisia valleja, jotka ovat hyviä kasvualustoja mm. leveäosmankkäämille ja haarapalpakolle. Valleja syntyy etenkin rantaniittyjen ulkoreunaan ja niiden kasvillisuus on yleensä ympäristöä selvästi rehevämpää ja korkeampaa.

8.2.4 Poosjärvi ja Inhottu

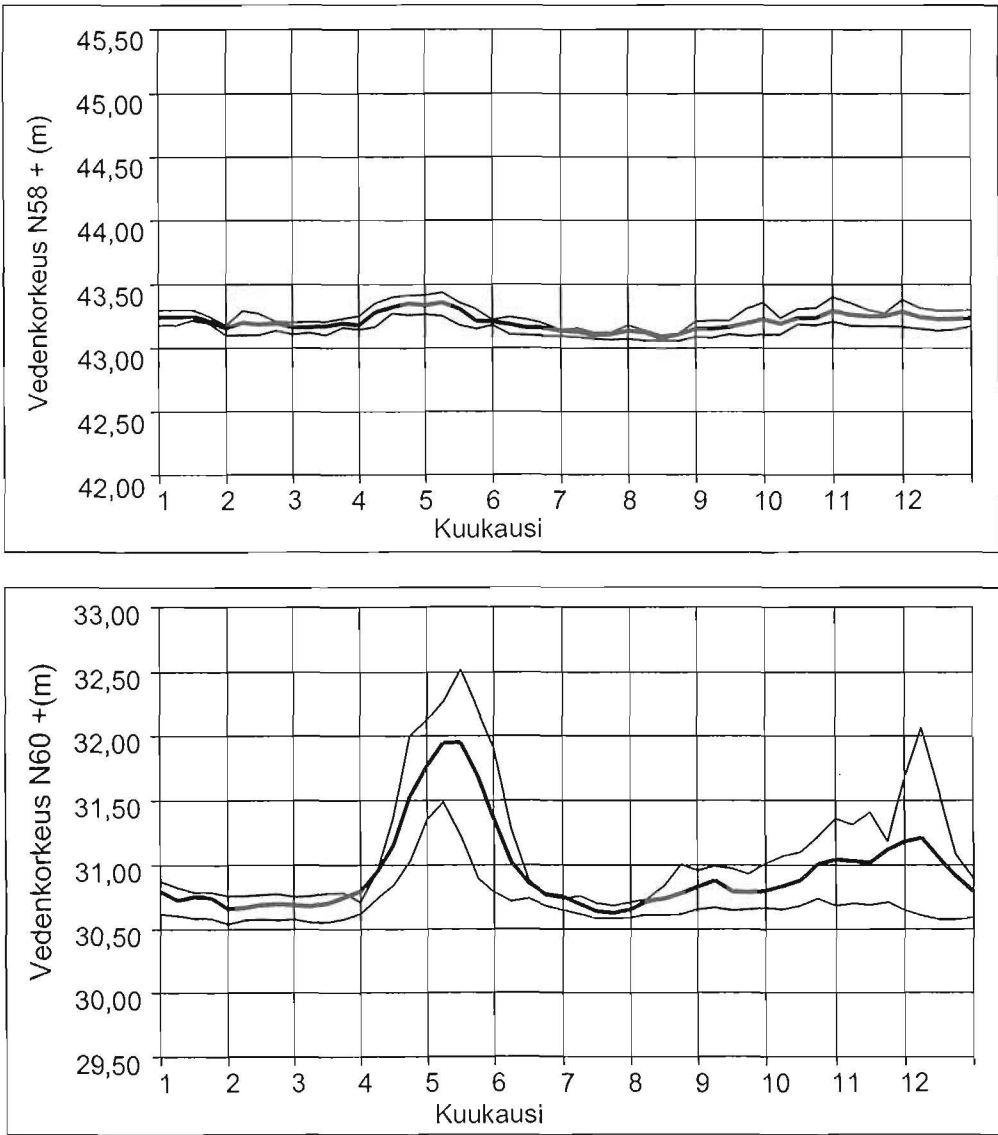
Pohjois-Satakunnassa Noormarkun kunnassa Karvianjoen vesistöalueella sijaitsee kaksi miltei samankokoista matalaa järveä: Poosjärvi (4,08 km²) ja Inhottu (3,57 km²). Molemmista järvistä on laadittu vuonna 1992 maastotöiden ja ilmakuvien pohjalta kasvillisuuskartat sekä kasvisto- ja linnustoselvitykset (Hakila & Kalinainen 1992, Lampolahti 1992). Päijänteen säännöstelyselvitystä varten aineisto käsiteltiin uudelleen (Lampolahti 1999) ja seuraavassa esitetään yhteenveto tuloksista.

Järvien valuma-alueet ovat samankaltaiset ja niiden historia on samanlainen: molempien pintaa laskettiin noin metrillä Karvianjoen järjestelyssä 1960-luvun alkupuolella. Molemmat järvet ovat matalahkoja keskisyvyyden vaihdellessa metrin kahtapuolin. Inhottu on Karvianjoen vesistön keskusjärviä ja kahtaallejuoksu- eli bifurkaatiojärvi. Inhotun eteläisempi laskuhaara Oravajoki laskee kui-

vattuun Torajärveen, mistä lounainen haara laskee Noormarkunjokena mereen ja luoteinen haara laskee Keskisjokena Poosjärveen. Vedenlaadultaan järvet muistuttavat huomattavasti toisiaan.

Inhottu on säännöstelty järvi, josta kevättulva on miltei poistettu (kuva 71). Kevään ja kesän vesitilanne vaikuttaa Inhotun vedenkorkeuteen, mutta säännöstely pitää vedenpinnan vaihtelun kuitenkin luonnontilaan nähden vakaana. Poosjärven vedenkorkeuden vaihtelu on lähes luonnollinen: voimakas kevättulva nousee kiivaimman kevääntulon aikana toista metriä normaalia korkeammalle rantametsiin asti. Samoin loppuvuodesta Poosjärvellä on selvä tulvahuippu.

Järvikorte on yleisesti ottaen pahin umpeenkasvun aiheuttaja Noormarkun alueella (kuva 72). Pinnanlaskun aikoinaan madaltamalla lintujärvillä keskisyvyys on usein alle metrin, ja matalilla umpeenkasvualoilla tihenevä kortteikko valmistaa alustaa muille kookkaammille kasveille juurtua. Kortteikko mataloituu vähitellen saraluhdaksi, joka umpeenkasvun edetessä alkaa rahkoittua (Lampolahti 1991).



Kuva 71. Inhotun (yläkuva) ja Poosjärven (alakuva) vedenkorkeuden keskiarvo (paksu viiva) jaksolla 1980-1989. Yläkvartiili (75%) ja alakvartiili (25 %) on merkitty ohuella viivalla.

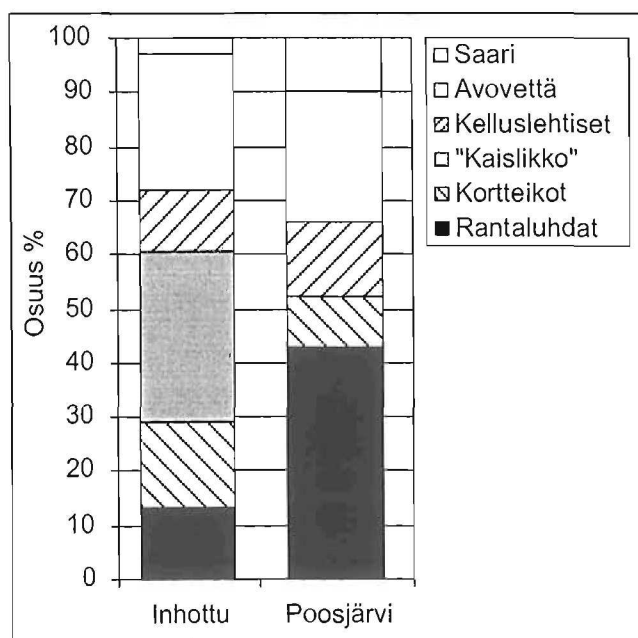
Inhotulla ei ole vesikasvillisuuden vyöhykkeisyyttä, vaan kasviyhdyksuntien sijoittumisen määräävät virtausolot. Kasvillisuuskuviot sijoittuvat mosaiikkimaisesti toistensa lomiin. Inhotun sulkeutuneessa itäosassa ja umpeutuvassa pohjoisosassa laajat ilmaversoiskasvustot peittävät kesällä avovesialan lähes kokonaan. Kortteikkojen sisään jää luoksepääsemättömiä vesikasvillisuuden täyttämiä lampareita. Inhotulla upos- ja kelluslehtinen vesikasvillisuus peittää yhtenäisinä kasvustoina monin paikoin kokonaan järvikaislan ja sarjarimmen rengaskasvustojen välisen vesipinta-alan. Näiden suojaisien ns. lintuvesialueiden kasvillisuuden ja selkärangattomien eläinten tuotanto on valtava tarjoten kalan- ja vesilinnunpoikasille ihanteelliset ruokailualueet.

Ruovikoita ja ruokoluhtia Inhotulla on huomattavan vähän, joskin luoteisrannalla ja itäosan saarten rannoilla ne ovat huomattavan tuuheita ja elinvoimaisia pienestä alastaan huolimatta. Myös saraluhkia Inhotulla on kovin vähän. Rahkasammal pohjaiset, vesisaravaltaiset rantaluhdat ovat syntyneet suojaisiin lahdenpohjukoihin soistumalla kortteikoista ja ruo'ikoista.

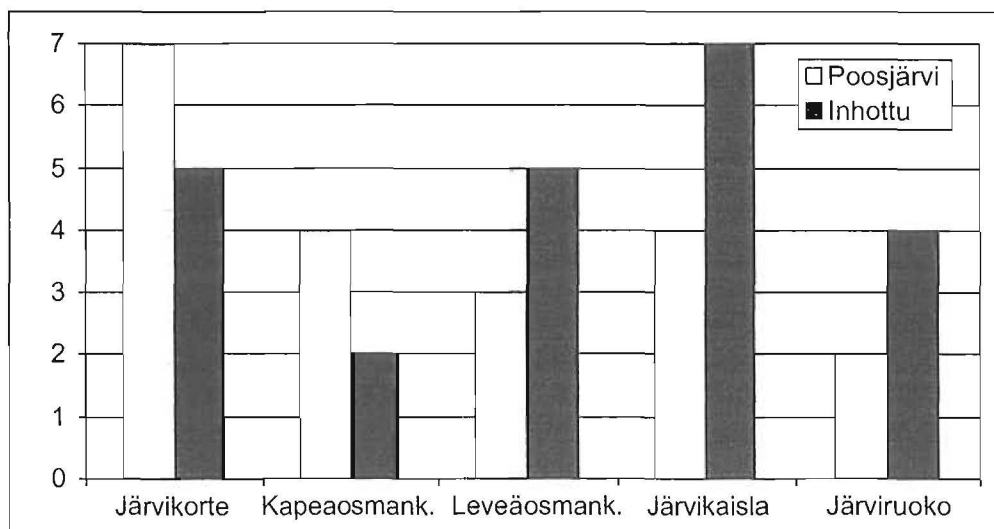
Poosjärvellä taas vesikasvillisuuden vyöhykkeisyys on selvä. Järven avovesitilaa reunustaa lähes kauttaaltaan upos- ja kelluslehtisen kasvillisuuden vyöhyke, joka on luonnollisesti laajempi suojaisissa lahdelmissa ja kapeampi avoimilla rannoilla (kuva 72). Järvikorte muodostaa laajoja ja tiheitä kasvustoja vesikasvillisuusvyöhykkeen taakse. Toki kortteikkojen lomassa kasvaa paikoin rehevämpää vesikasvillisuutta, ja virtaavan veden vaikutuspiiristä löytyvät luonnehtijalajeina sarjarimpi ja jokileinikki. Järviruoko, leveäosmankäämi ja järvikaisla sen sijaan ovat yllättävän niukkoja, ja ruo'ikot ja kaislikot itse asiassa taantuvat koko ajan Poosjärvellä.

Kortteikon takana levittäytyvät laajat saraluhdat. Märemmillä paikoilla ja maaperältään mineraalirannoilla valtalajina on viiltosara, mutta rantaluhtien muodostumisen päästyä alkuun valtalajina on vesisara. Okarahkasammalen vallatessa alaa luhtakasvillisuus on monilajisempaa, paikoin saraikkojen keskellä on lampareitakin. Luhtien kuivuessa viitakastikka ja pajut saavat jalansijaa ja työntyvät vähitellen luhdille rannalta käsin.

Yksittäisten kasvilajien runsautta on vertailtu yksityiskohtaisesti Lampolahden (1999) kirjoituksessa. Järviä on tarkasteltu yhtenä kokonaisuutena, joten runsausluokka kertoo kasvilajin runsaudesta koko järvellä. Tarkastelu on rajoitettu



Kuva 72. Inhotun ja Poosjärven kasvillisuustyyppien osuudet koko järven pinta-alasta. "Kaislikko" kuvaa Inhotulla kaislikkoista runsasta vesikasvillisuutta. Rantaluhtiin sisältyvät myös ruovikot.



Kuva 73. Vesikasvien runsausluokat Norrlinin seitsenluokkaisella asteikolla Noormarkun Poosjärvellä ja Inhotulla.

aitoihin vesikasveihin, joten rantaluhtien luhtakasvillisuutta kuten saraikkoja ei siten ole huomioitu tässä. Umpeenkasvun indikaattorilajien yleisyyttä on vertailtu kuitenkin seuraavassa kuvassa 73.

Järvikorte on tulvivalla Poosjärvellä selvästi runsaampi, kun taas järvikaisla muodostaa runsaampia kasvustoja Inhotulla. Järviruoko on kovin niukka Poosjärvellä, kun Inhotun ruo'ikot ovat paikoin tuuheita kelvaten esimerkiksi kaulushaikaran ja ruskosuohaukan pesäpaikoiksi. Järviruoko on vähälukuisuus Poosjärvellä voi liittyä lajin herkkyyteen talvitulville. Osmankäämin runsaudessa ei ole juurikaan eroa eri järvien välillä.

Inhotun vesilinnusto on selvästi runsaampi kuin Poosjärven: Inhotulla pesi vuosina 1992-98 keskimäärin 374 vesilintuparia, kun taas Poosjärvellä pesi vain 132 paria. Inhotu on Suomen parhaita lintujärviä, missä lintuvesien tyyppilajit silkkiuikku, härkälintu, lapasorsa, punasotka ja nokikana pesivät runsaina. Silkkiuikku lukuunottamat ne puuttuvat kokonaan Poosjärveltä. Inhotun vesilinnusto painottuu sotkiin, uikkuihin ja nokikanaan. Vaateliaatkin vesilinnut sekä hyönteisiä syövät pikkulokki ja mustatiira löytävät runsaasti ruokaa Inhotun rehevistä vesikasvilabyrinteistä.

Poosjärven vesilinnusto painottuu puolisuikeltajasorsiin (*Anas*-suku) kiitos laajojen rantaluhtavyöhykkeiden. Matalammassa vedessä ruokaileville puolisuikeltajille soutiluimmat kortteikot ja saraluhdat ovat ihanteellisia pesimäympäristöjä. Vain jokapaikan sorsat tavi ja telkkä ovat Poosjärvellä runsaampia kuin Inhotulla. Karujen selkävesien tyyppilaji kuikka on ainoa Poosjärven pesimälaji, joka puuttuu Inhotulta. Vesilinnuston erot selittyvät luontevasti kasvillisuuden erojen perusteella.

Tulosten perusteella kevättulva siivoaa Poosjärvestä kuollutta kasviainesta rantametsiin ja rantojen umpeenkasvualoille, jolloin järveen jäävä ravinteiden määrä jää vähäiseksi. Inhotusta kevättulva puuttuu ja kuollut kasviaines jää järveen lahoamaan ja kiihdyttää järven tuotantoa ja umpeenkasvua.

Molemmat järvet ovat mataluutensa takia kasvamassa umpeen. Umppeenkasvu on kuitenkin selvästi nopeampaa Inhotulla: esimerkiksi järven luoteisosan laaja, runsaskasvustoinen lintuvesiala syntyi vasta 1980-luvulla. Kortteikot ja kaislikot valtaavat koko ajan uutta alaa Inhotulla. Poosjärvellä sen sijaan muutokset ovat huomattavasti hitaampia rauhallisempia. Yhteenveto tuloksista on koottu seuraavaan taulukkoon 20.

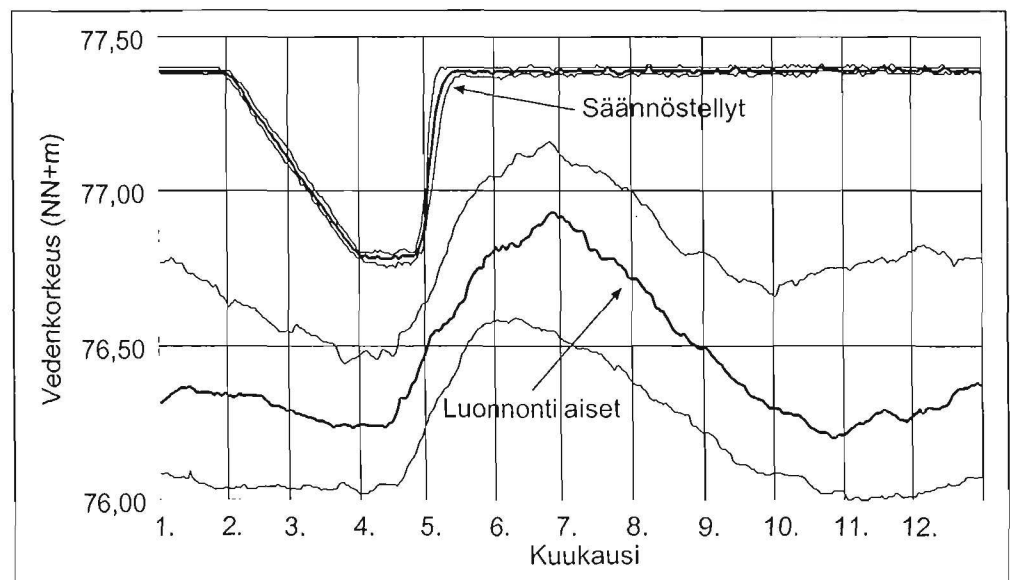
Taulukko 20. Säännöstellyn Inhotun ja luonnontilaisen Poosjärven keskeisimpien ominaisuuksien vertailu.

| Inhotu | Poosjärvi |
|---|--|
| Vesikasvillisuus reheväämpää ja kasvustot mosaikkimaisesti lomittain | Vesikasvillisuus selvästi vyöhykkeistä ja rannoilla yhtenäinen vesikasvillisuusvyö |
| Järvikaislaa ja sarjarimpeä rengaskasvustoina | Laajat, tiheät kortteikot |
| Tuuheita, pienialaisia ruovikoita | Kaislikot ja ruovikot taantumassa |
| Niukasti rantaluhtia | Laajat saraluhdat |
| Vaateliaita vesikasvilajeja | Vaateliaat lajit miltei puuttuvat, kirkkaiden vesien suosijoita |
| Suomen parhaita lintujärviä, härkälintu, punasotka, nokikana hyvin runsaita | Vesilintuja vain kolmasosa Inhotun määrästä, vaateliat vesilinnut puuttuvat |

8.2.5 Konnivesi-Ruotsalainen

Päijänteen säännöstelyn kehittämisessä selvitettiin kuulua oleellisesti sen alapuolisen Konnivesi-Ruotsalaisen säännöstelyn kehittämisessä (Marttunen & Järvinen 1999). Tutkimuksen alussa kartoitettiin Konniveden nykytilaa mm. rantakasvillisuuden osalta (Riihimäki & Hellsten 1997). Vertailuaineistona käytettiin Kemppaisen (1983) vuonna 1980 tekemää tutkimusta ja tutkimuslinjat (11 kpl.) sijoitettiin täysin samoille paikoille kuin vuonna 1980. Kemppaisen (1983) tutkimuksen aiheena oli varsinaisesti jätevesien vaikutus kasvillisuuteen, koska tuona aikana erityisesti Heinolan kaupungin lähialueet olivat voimakkaan kuormituksen alaisina.

Konnivesi-Ruotsalaisen säännöstely alkoi vuonna 1959, jolloin vedenpintaa nostettiin Ruotsalaisessa keskimäärin 0,64 m ja Konnivedessä 0,74 m (Marttunen & Järvinen 1999). Vedenkorkeuden vaihtelu muuttui esimerkiksi Konnivedessä hyvin merkittävästi; kevättalvista vedenkorkeuden laskua lukuunottamatta vedenpintaa pidetään miltei aina samalla tasolla (Kuva 74). Varsinainen kevättulva on siis leikattu täydellisesti, vaikka vedenkorkeus nouseekin melko nopeasti. Vedenkorkeuden vaihtelu on avovesikaudella erittäin vähäistä; eulitoraalien laajuus on vain 4 cm.



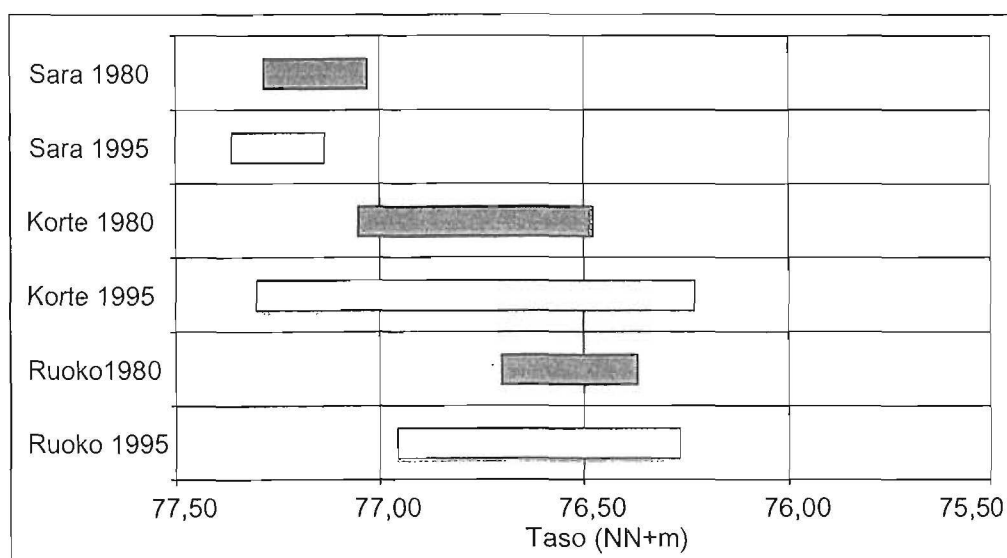
Kuva 74. Konniveden vedenkorkeuksien mediaani (paksu viiva) säännösteltynä (1960-1995) ja luonnontilaisena (1908-1959). Yläkvartiili (75%) ja alakvartiili (25%) on merkitty ohuella viivalla.

Ruovikkoa tavattiin kapeahkona vyöhykkeenä vain kahdella linjalla. Järvi-ruo'on esiintymisalue oli kuitenkin laajentunut kuten myös järvikortteen ja saraikon esiintymisalue (kuva 75). Ilmiö kuvaa hyvin rantavyöhykkeen tasapainoitumista, jolloin ruoko pyrkii laajentamaan esiintymisaluettaan säännöstelyn alussa tapahtuneen vedenpinnan noston jälkeen. Toisaalta ruovikko ei kuitenkaan pysty kasvamaan ylimmällä rantavyöhykkeellä, jolla se joutuu kilpailemaan saraikon ja pehmeäpohjaisilla rannoilla myös kortteikon kanssa. Vedenkorkeuden vaihtelun vähäisyys ja suhteellisen nopeasti nouseva tulva muodostaa huonon kasvuympäristön järvi-ruo'olle, jota vielä lisää järven rantavyöhykkeen jyrkkyys.

8.3 Yhteenveto ruovikon esiintymiseen vaikuttavista tekijöistä eri järvillä

Edelläkuvattujen havaintojen perusteella voidaan päätellä ruovikkojen esiintymisen riippuvan ainakin kolmesta päätekijästä, joiden vaikutussuunnat on kaavamaisesti esitetty kuvassa 76.

- Kevättulvan voimakkuus ja siihen verrannollinen alkukesän vedenpinnan taso rajoittaa ruovikon leviämistä kuten esimerkiksi Äänekosken reitin havainnot osoittavat. Mikäli tulva on leikattu tai luontaisesti vähäinen, ruovikko saa suuren kilpailuedun kuten Päijänteellä. Vesijärvellä tilanne on sikäli poikkeuksellinen, että tulvan kasaama aines pikemminkin tukahduttaa ruovikon kasvua, koska se ei tasaisen kesävedenpinnan takia leviä laajemmalle.
- Laaja avovesikauden aikainen vaihtelu altistaa koko rannan ruovikon leviämiselle, mutta sen merkitys ei ole niin merkittävä kuin alkukesän vedenkorkeudella. Kapean vaihtelun omaavissa järvissä (esim. Inhottu) ruovikko on keskittynyt hyvin kapealle vyöhykkeelle.
- Pohjanlaadun merkitys näyttää olevan myös melko selvä; huono pohjanlaatu rajoittaa tehokkaasti ruovikon leviämistä. Hyvän rantavyöhykkeen pohjanlaadun omaavissa järvissä ruovikko saavuttaa laajat kasvualueet. Kuvaan 76 on myös laskettu järvien sijoittumisen perusteella niiden suhteellinen ruovikoitumisherkkyys; suurimman arvon saa Päijänne ja pienimmän Äänekosken reitin järvet sekä Inhottu.



Kuva 75. Saraikon, kortteikon ja ruovikon keskimääräiset kasvusyvyydet vuonna 1980 (Kemppainen 1983) ja vuonna 1995 (Riihimäki & Hellsten 1997) yhdentoista kasvulinjan havaintojen perusteella laskettuna.

| | | Vaikutus | PÄ | KE | ÄÄ | VE | PO | IN | KO |
|---------------------------|-------|----------|-----|-----|----|----|------|----|----|
| Alkukesän vedenkorkeus | Ylös | - | | X | X | | X | X | X |
| | Alas | + | X | | | X | | | |
| Kesän vaihtelu | Kapea | - | | | X | X | | X | X |
| | Leveä | (+) | X | X | | | X | | |
| Pohjan laatu | Hyvä | + | X | X | | X | | | X |
| | Huono | - | | | X | | X | X | |
| | | | 2,5 | 0,5 | -3 | 1 | -1,5 | -3 | -1 |

Kuva 76. Yhteenveto ruovikkoon vaikuttavista tekijöistä; + = positiivinen vaikutus ruovikkoon, - = negatiivinen vaikutus ruovikkoon. Yhteenvetopisteet laskettu siten, että + = +1, (+) = +0,5 ja - = -1. PÄ = Päijänne, KE = Keitele, ÄÄ = Äänekosken reitin järvet, VE = Vesijärvi, PO = Poostjärvi, IN = Inhottu, KO = Konnivesi.

Etelä-Päijänteeseen rantavyöhykkeen pohjaeläinbiomassa ja siihen vaikuttavat tekijät



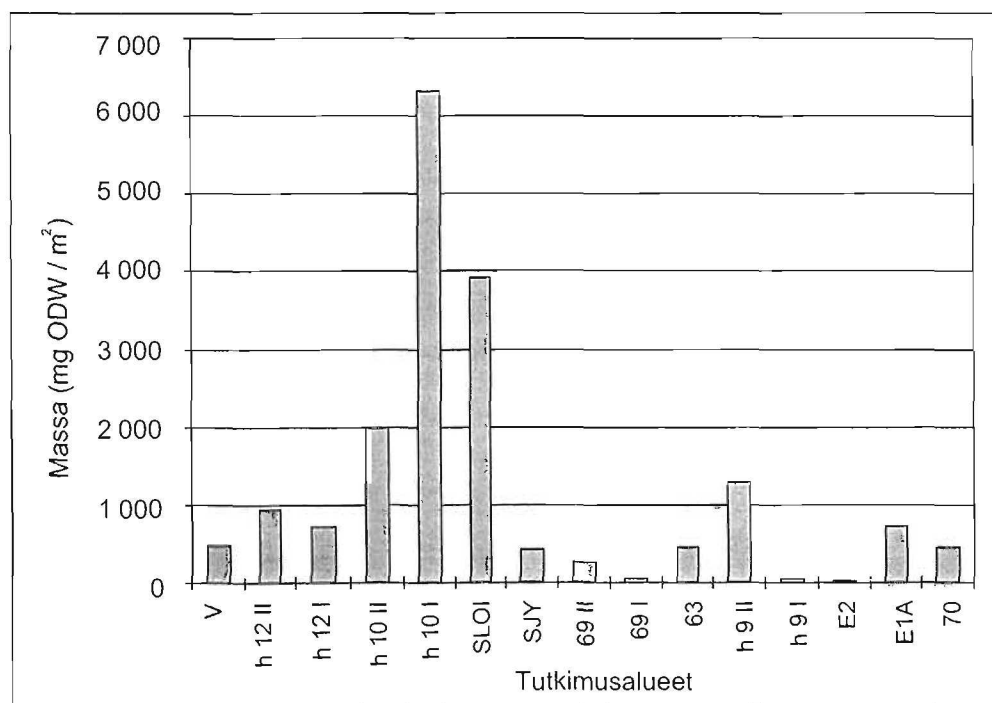
Palomäki, R.

Keski-Suomen ympäristökeskus

9.1 Tulokset

Pohjaeläimistön kokonaisbiomassa oli keskimäärin 1,2 g ODW/m² koko aineistossa (kuva 80). Pienin arvo oli hiekkarantaisella lahdella (22 mg ODW/m², E2) ja suurin arvo pehmeäpohjaisen ja pitkän lahden perukassa (6335, H10 I). Päijänteellä pienimmän ja suurimman arvon ero oli yli 288-kertainen. Vaihtelu biomassarvoissa oli siis erittäin suurta. Hellstenin ym. (1997) mukaan vaihtelu selittyy yleensä näytteenottoalueiden morfo-edafisten ominaisuuksien erilaisuudella. Inarijärvellä vastaavanlaisessa aineistossa pienimmän ja suurimman arvon ero oli vain 52-kertainen (Palomäki & Hellsten 1996).

Näytepaikoista Karaniemen (E2) alueen tulokset poikkesivat muiden näytealueiden tuloksista selvästi. Pohjaeläimistön kokonaisbiomassa oli muihin alueisiin verrattuna pienin. Alueen kasvillisuus oli niukkaa ja pohja muista näytealueista selvästi poikkeava (taulukko 21). Näytepaikka oli laaja, loivarantainen ja hiekkapohjainen lahtialue suuren avoimen selän kupeessa ja siten se oli myös tehollisen tuulialan suhteen muista alueista poikkeava. Tällaisen selän laidalla sijaitsevien hiekkarantojen kasvillisuuden on todettu kärsivän aallokon kuluttavasta voimasta ja toisaalta minerogeeninen pohja on herkkä talvisin jäätymään. Näillä perusteilla tämä näytepaikka poistettiin myöhemmistä analysoinneista.



Kuva 80. Pohjaeläinbiomassat (mg ODW/m²) Etelä-Päijänteeseen tutkimuspaikoilla.

Taulukko 21. Pohjaeläimistö eri näytepaikoilla ja näytepaikoilta mitatut taustamuuttujat.

| Näytealueet | V | h 12 II | h 12 I | h 10 II | h 10 I | SLOI | SJY | 69 II | 69 I | 63 | h 9 II | h 9 I | E2 | E1A | 70 |
|---------------------|-------|---------|--------|---------|--------|--------|-------|-------|------|-------|--------|-------|------|--------|-------|
| Taksoni | | | | | | | | | | | | | | | |
| Turbellaria | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 428 |
| Nematoda | 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Mollusca | 9000 | 1250 | 0 | 77329 | 50927 | 314008 | 350 | 2500 | 4300 | 14977 | 7500 | 5160 | 0 | 21400 | 26243 |
| Lamellibranchiata | 0 | 0 | 0 | 19150 | 10190 | 25150 | 100 | 300 | 0 | 6000 | 0 | 300 | 460 | 0 | 0 |
| Hirudinea | 14929 | 395 | 0 | 30316 | 12696 | 42326 | 2900 | 1724 | 0 | 5925 | 38274 | 0 | 1250 | 14570 | 470 |
| Hydrachnellae | 150 | 63 | 150 | 0 | 100 | 100 | 450 | 150 | 0 | 0 | 150 | 50 | 0 | 200 | 0 |
| Oligochaeta | 7700 | 188 | 1700 | 2400 | 10450 | 58550 | 700 | 1150 | 200 | 3850 | 6350 | 2000 | 200 | 6630 | 4650 |
| Crustacea | 10290 | 5263 | 1360 | 13030 | 71320 | 13980 | 10470 | 8200 | 1150 | 7970 | 4500 | 1820 | 900 | 10800 | 10658 |
| Ephemeroptera | 995 | 88 | 0 | 110 | 2600 | 3521 | 1195 | 757 | 452 | 251 | 26 | 260 | 0 | 86 | 97 |
| Anisoptera | 17463 | 75406 | 60325 | 78890 | 688500 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5250 | 0 |
| Zygoptera | 2950 | 0 | 23750 | 10625 | 25034 | 18962 | 35437 | 0 | 0 | 15125 | 25762 | 0 | 0 | 25575 | 12125 |
| Heteroptera | 0 | 0 | 0 | 0 | 2600 | 7875 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Neuroptera | 0 | 22500 | 0 | 36400 | 100 | 0 | 2200 | 400 | 0 | 0 | 2500 | 0 | 0 | 1500 | 0 |
| Trichoptera | 1007 | 11458 | 7160 | 7108 | 24965 | 57454 | 4287 | 2455 | 946 | 9992 | 11644 | 605 | 220 | 8983 | 6416 |
| Coleoptera | 1100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 200 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Lepidoptera | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5750 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Diptera | 3359 | 17812 | 9261 | 12847 | 18626 | 29457 | 3028 | 20921 | 85 | 638 | 83469 | 1490 | 106 | 9229 | 3391 |
| Yhteensä | 69093 | 134423 | 103706 | 288205 | 918108 | 571483 | 61317 | 38557 | 7133 | 64728 | 185925 | 11685 | 3136 | 104223 | 64478 |
| mg ODW /m² | 477 | 936 | 716 | 1989 | 6335 | 3943 | 423 | 266 | 49 | 447 | 1283 | 45 | 22 | 719 | 445 |
| Taksoniluku | 12 | 10 | 7 | 12 | 13 | 12 | 12 | 10 | 6 | 9 | 11 | 8 | 6 | 11 | 10 |
| Taustamuuttujat | | | | | | | | | | | | | | | |
| Kasv.vyöhykk. (lkm) | 4,5 | 3 | 5 | 4 | 5 | 4 | 2 | 3 | 1 | 2 | 5 | 2 | 0,5 | 3 | 2 |
| Kasviyks. (lkm.) | 1863 | 21 | 0 | 214 | 28 | 35 | 42 | 7 | 0 | 745 | 35 | 559 | 7 | 500 | 442 |
| Kasvitaks. (lkm) | 5 | 1 | 0 | 2 | 4 | 2 | 3 | 1 | 0 | 4 | 2 | 2 | 1 | 4 | 3 |
| Kelluleht. (m) | 20 | 4 | 5 | 3 | 10 | 20 | 1 | 2 | 1 | 2 | 20 | 2 | 0 | 1 | 4 |
| Ilmavers. (m) | 25 | 40 | 60 | 20 | 85 | 30 | 11 | 20 | 10 | 20 | 50 | 20 | 1 | 22 | 40 |
| Avoimuus (ast.) | 11 | 1 | 1 | 0 | 0 | 19 | 11 | 12 | 50 | 93 | 90 | 49 | 90 | 40 | 51 |
| Kaltevuus (m) | 35 | 42 | 65 | 22 | 85 | 45 | 12 | 21 | 15 | 24 | 60 | 21 | 110 | 23 | 41 |
| Pohjan laatu | | | | | | | | | | | | | | | |
| Miner. aines | Hi | Ei | Ei | Ei | Ei | Ei | Ei | Hi | Hi | Hi&a | Ei | Sa | Hi | Hi&a | Hi |
| Org. aines (0-5) | | | | | | | | | | | | | | | |
| Karkea | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 1 | 5 | 2 | 0 | 1 | 2 |
| Hieno | 3 | 3 | 5 | 1 | 5 | 4 | 4 | 2 | 0 | 2 | 4 | 1 | 0 | 2 | 1 |

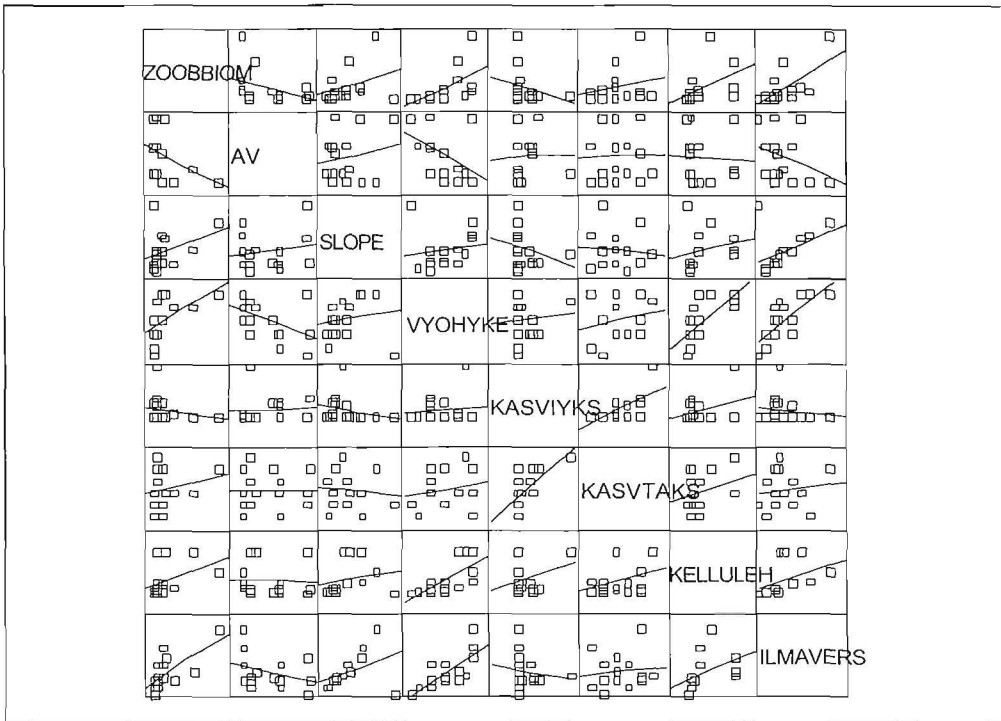
Näytepaikoilla tavattiin yhteensä 17 eri pohjaeläinryhmää. Suurimmat massat mitattiin kotiloilla (314 mg/m²), juotikkaila (42 mg/m²), harvasukamadoilla (59 mg/m²), äyriäisillä (71 mg/m²), sudenkorennoilla (689 mg/m²), vesiperhosilla (57 mg/m²) ja kaksisiipisillä (83 mg/m²). Pohjois-Päijänteeltä 1975 tehdyssä jätevesikatselmuksiin liittyvissä pohjaeläintutkimuksessa (Selin & Hakkari 1976) kokonaisbiomassan vaihtelu 1 m:n syvyydessä oli tämän tutkimuksen tuloksiin verrattuna pienempää ja tämän tutkimuksen suurimmat arvot olivat yli 10-kertaisia Pohjois-Päijänteeseen suurimpiin arvoihin verrattuna. Tämän tutkimuksen suurimmat arvot olivat sen sijaan vain 5-kertaiset Etelä-Päijänteeseen säännöstelytutkimuksen (Etelä-Päijänne 1977, Hakkari ym. 1978a) huippuarvoihin verrattuna.

Suurimmat biomassat Pohjois-Päijänteeseen aineistossa oli simpukoilla, kaksisiipisillä, juotikkaila ja harvasukamadoilla. Aiemman Etelä-Päijänteeseen säännöstelytutkimuksen aineistossa eri ryhmien biomassoja ei ollut eritelty.

| | Pohjois-Päijänne VII-VIII 1975 | Etelä-Päijänne VI-IX 1977 | Etelä-Päijänne IX 1997 |
|--------------------------|-----------------------------------|------------------------------|---------------------------|
| Kokonaisbiomassa g WW/m² | 0,06-5,67 | 0,45-10,82 | 0,18-58,16 |

9.2 Ympäristömuuttujien vaikutus

Rannan avoimuus (rannan avautumiskulma astemäärinä mitattuna) oli rajattu jo näytteenottoalueita valittaessa siten, että kaikkien näyterantojen avautumiskulma oli alle 100 astetta. Rannan avoimuus ei vaikuttanut pohjaeläimistön kokonaisbiomassaan eikä se myöskään ollut korrelaatiossa muiden taustamuuttujien kanssa (kuva 81, taulukko 22). Ilmaversoisten peittävyys ja rannan kaltevuus korreloivat



Kuva 81. Mitattujen taustamuuttujien, rannan eri kasvillisuusvyöhykkeiden peittävyyksien, vyöhykkeisyyden kehittyneisyyden, kasviston monimuotoisuuden, kasvirunsauden (yks./m²) ja pohjaeläinbiomassan (mg ODW/m²) riippuvuus tutkimusaineiston perusteella.

Taulukko 22. Korrelaatiomatriisi mitattujen suureiden välisistä riippuvuuksista (Pearssonin korrelaatiokerroin; p=merkitsevyystaso, p<0,05*, p<0,01**, p<0,001***).

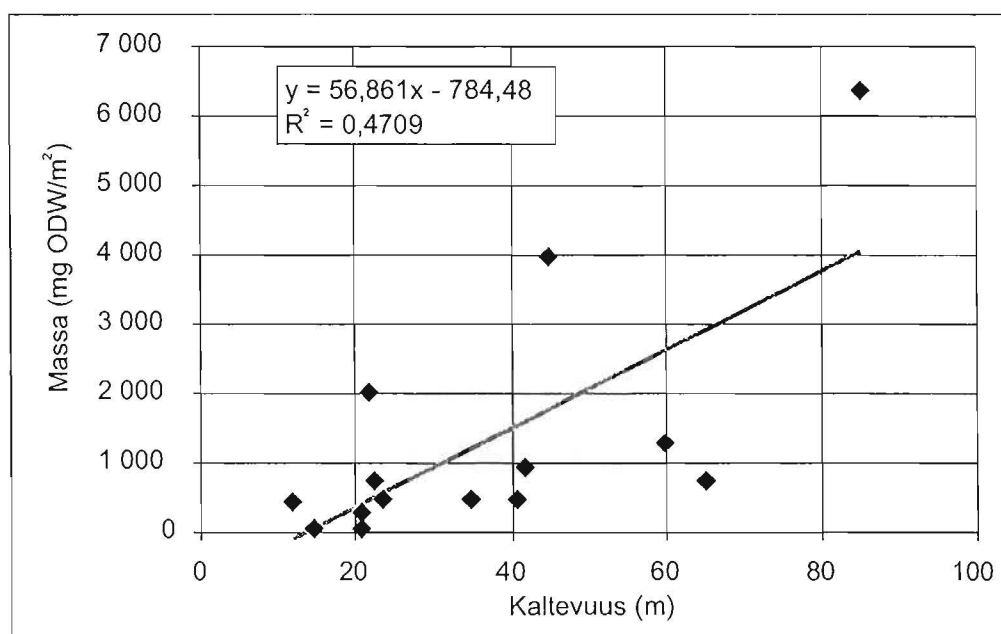
| | AVOIMUUS | ILMAVERS | KASVIYKS | KASVITAKS | KELLULEH | KALTEVU |
|-----------|----------|----------|----------|-----------|----------|---------|
| AVOIMUUS | 1,00 | -0,20 | 0,13 | 0,14 | 0,04 | -0,16 |
| | p= | p=0,49 | p=0,67 | p=0,63 | p=0,90 | p=0,58 |
| ILMAVERS | -0,20 | 1,00 | -0,24 | 0,04 | 0,35 | 0,98 |
| | p=0,49 | p= | p=0,41 | p=0,88 | p=0,22 | p=0,00 |
| KASVIYKS | 0,13 | -0,24 | 1,00 | 0,68 | 0,28 | -0,19 |
| | p=0,67 | p=0,41 | p= | p=0,01 | p=0,33 | p=0,51 |
| KASVITAKS | 0,14 | 0,04 | 0,68 | 1,00 | 0,26 | 0,04 |
| | p=0,63 | p=0,88 | p=0,01 | p= | p=0,37 | p=0,90 |
| KELLULEH | 0,04 | 0,35 | 0,28 | 0,26 | 1,00 | 0,52 |
| | p=0,90 | p=0,22 | p=0,33 | p=0,37 | p= | p=0,06 |
| KALTEVU | -0,16 | 0,98 | -0,19 | 0,04 | 0,52 | 1,00 |
| | p=0,58 | p=0,00 | p=0,51 | p=0,90 | p=0,06 | p= |
| VYÖHYKE | -0,34 | 0,69 | 0,03 | 0,12 | 0,67 | 0,76 |
| | p=0,23 | p=0,01 | p=0,92 | p=0,68 | p=0,01 | p=0,00 |
| ZOObiOM | -0,34 | 0,67 | -0,27 | 0,23 | 0,42 | 0,69 |
| | p=0,24 | p=0,01 | p=0,35 | p=0,43 | p=0,14 | p=0,01 |

voimakkaimmin kokonaisbiomassan kanssa (kuvat 81 ja 82). Toisaalta ilmaversoisten peittävyys ja rannan kaltevuus olivat keskenään voimakkaassa korrelaati-
ossa (taulukko 22).

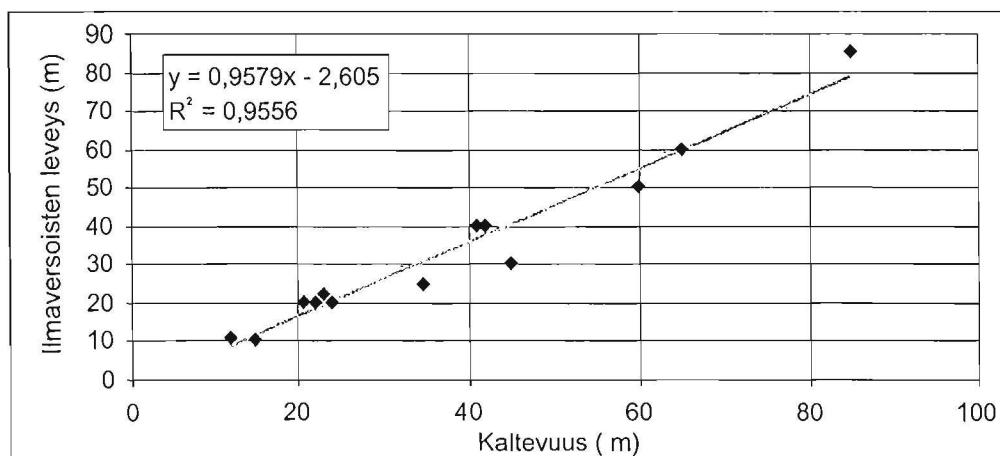
Ilmaversoisten peittävyys oli sitä suurempi, mitä loivempi ranta oli kyseessä (taulukko 22, kuva 83). Ilmaversoisten ja kelluslehtisten peittävyksien suuruus näkyi selvästi myös kasvivyöhykkeiden lukumäärissä siten, että peittävyksien suureudessa kasvillisuusvyöhykkeisyyden täydellisyys kasvoi. Rannan kaltevuus näytti olevan korrelaatiomatriisin perusteella arvoituna keskeinen tekijä, joka vaikutti sekä kasvillisuuden peittävyysiin että pohjaeläinten kokonaisbiomassaan.

Tarkasteltaessa askeltavalla regressioanalyysillä (forward selection) eri taustamuuttujien vaikutusta pohjaeläimistön kokonaisbiomassaan, havaittiin rannan kaltevuuden selittävän eniten pohjaeläinbiomassaa (ZOOBIOM).

$$\text{ZOOBIOM (mg ODW/m}^2\text{)} = -784,5 + 56,9 \times \text{rannan kaltevuus} \quad (16)$$



Kuva 82. Rannan kaltevuuden (metrin syvyyden etäisyys rantaviivasta m ja pohjaeläinbiomassan (mg ODW/m²) riippuvuus tutkimusaineiston perusteella.



Kuva 83. Rannan ilmaversoiskasvillisuuden peittävyuden ja rannan kaltevuuden (etäisyys rantaviivasta l m:n syvyyteen) riippuvuus tutkimusaineiston perusteella.

Analyysin perusteella voidaan sanoa, että rannan kaltevuuden vähetessä pohjaeläinbiomassa kasvaa ($p = 0,007$), mutta malli selittää vain 47% pohjaeläinbiomassan suuruudesta aineistossa. Tässä tutkimuksessa analyysi ei ottanut mukaan enempää muita taustamuuttujia. Ilmaversoisten peittävyys, joka oli toiseksi voimakkain korrelaatiossa oleva muuttuja kokonaisbiomassan kanssa, oli voimakkaassa korrelaatiossa rannan kaltevuuden kanssa, joka estää sen ottamisen mukaan analyysin jatkokäsittelyyn.

9.3 Säännöstelyn vaikutus pohjaeläinbiomassaan - mallitarkastelu

Säännöstelyn vaikutuksia pohjaeläinbiomassaan voidaan arvioida aiemmin kehitetyllä yksinkertaisella yhtälöllä (Palomäki 1994):

$$\log \text{MZB} = 4,25 - 1,33 (\log \text{Biomass Index}), \quad (17)$$

jossa:

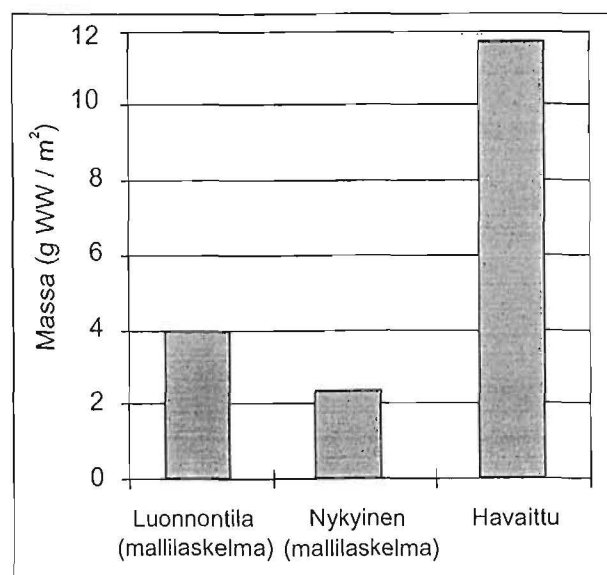
MZB = pohjaeläimistön kokonaisbiomassa ($\text{mg ODW}/\text{m}^2$) keskimäärin 0-3 m:n syvyydellä

Biomass Index = Vedenkorkeuden vaihtelu/Näkösyyvyys $\times 100$

Vedenkorkeuden vaihtelu (m) tarkasteltavaa ajankohtaa edeltävänä vuonna laskettuna havaintoarvojen kuukausikeskiarvoista.

Näkösyyvyys (m) tarkasteltavana avovesikautena

Yhtälöllä lasketaan ranta-alueen teoreettinen pohjaeläinbiomassa suojaisilla habitaateilla. Menetelmä perustuu oletukseen, että vuosittainen vedenkorkeuden vaihtelu häiritsee ranta-alueen vyöhykkeisyyden kehittymistä. Mitä suuremman osan valoisasta vyöhykkeestä vaihteluväli käsittää, sitä enemmän pohjaeläinmassa vähenee. Kuvassa 84 esitetään pohjaeläimistön kokonaisbiomassa (tuorepainona, WW) Päijänteen suojaisilla habitaateilla yhtälön avulla laskettuna erilaisilla vedenkorkeusvaihtoehdoilla (luonnontilaisiin vedenkorkeuksiin palautettuna ja säännösteltynä vv 1996-1997) sekä syyskuussa 1997 havaintoaineiston keskiarvo. Yhtälö tarvitsee lähtötiedoikseen edellisen vuoden vedenkorkeusvaihtelut, jotka olivat kuukausikeskiarvoista laskettuna 0,96 m (nykyinen säännöstely) ja 0,65 m (luonnontilaan palautettu). Etelä-Päijänteen havaintopisteillä v. 1997 näkösyvyys oli keskimäärin 4,0 m.



Kuva 84. Pohjaeläimistön kokonaisbiomassa ($\text{g WW}/\text{m}^2$) Päijänteen suojaisilla habitaateilla Palomäen (1994) menetelmällä laskettuna erilaisilla vedenkorkeusvaihtoehdoilla sekä havaintoaineiston perusteella IX 1997.

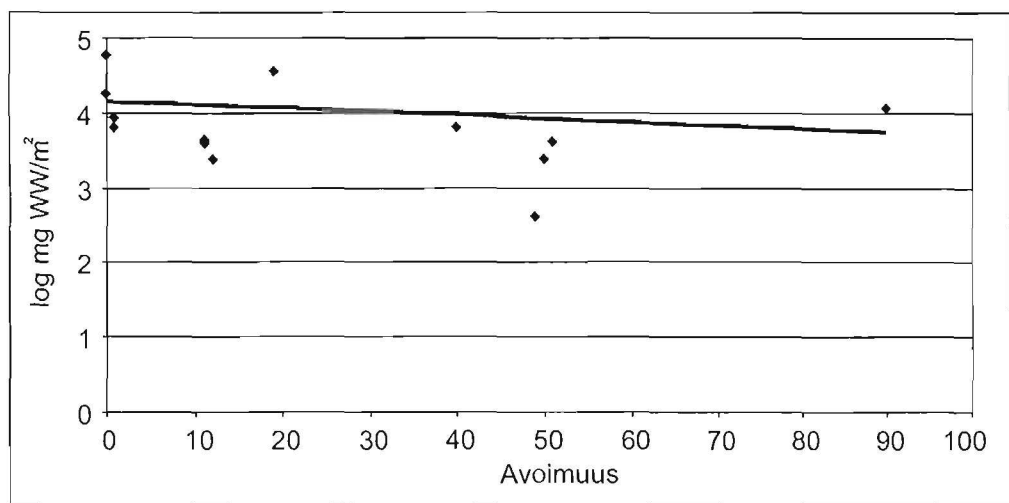
Nykyisellä säännöstelyllä pohjaeläinmassa on pienin verrattuna muilla vaihtoehtoilla laskettuihin arvoihin. Se on 59 % luonnontilaisesta arvosta. Syksyllä 1997 tämän tutkimuksen havaintomateriaalin perusteella pohjaeläinbiomassa on kuitenkin selvästi suurempi kuin mallilaskelmilla saadut arvot. Havaittu arvo on 3-kertainen luonnontilaiseen arvoon verrattuna ja 5-kertainen nykyisellä säännöstelyllä laskettuun arvoon verrattuna. Malli ei ota huomioon pohjarinteen kaltevuutta eikä kasvillisuuden vaikutuksia, jotka todettiin tämän havaintoaineiston perusteella pohjaeläinbiomassaan merkitsevästi vaikuttaviksi tekijöiksi suojaisilla habitaateilla. Tämä osaltaan selittää mallista poikkeavat arvot Päijänteellä. Kuitenkin on todettava, että rehevöityminen tutkimushypoteesinkin perusteella oletettiin vaikuttavan ranta-alueella juuri näihin muuttujiin, pohjarinteen kaltevuuteen ja kasvillisuuden määrään.

Aiemmin Päijänteeltä tehdyissä tutkimuksissa korostetaan pohjaeläinten osuutta kalanravintona, mutta laskelmin todetaan myös, että pohjaeläintuotanto eläinplanktonituotantoon verrattuna olisi vähäisempi (Selin & Hakkari 1976). Tutkimustulosten puute heikentää suuresti pohjaeläimistön merkityksen arviointia kalanravintona. Se mitä Päijänteen ”ongelmakalojen” mm. särjen ja siian ravinnosta tiedetään on vähäistä. Vaellussiikaa pidetään esimerkiksi ahventa tehokkaampana eläinplanktonin käyttäjänä (Svårdson 1976, Pruuki ym. 1983). Siika viettää Päijänteellä kaksi ensimmäistä kasvukauttaan matalilla alueilla (Valkeajärvi & Raatikainen 1988). Tuossa kehitysjaksossa se oppii käyttämään ravinnokseen myös pohjaeläimiä, mikäli niitä on riittävästi tarjolla (Lentua ja Ontojärvi, Tikkanen ym. 1989). Särki puolestaan syö ranta-alueella runsaasti makrofytyttejä ja perifytonia. Sekä makrofytyttien että pohjaeläinten osuus kasvaa särjen koon kasvaessa. Eläinplanktonin osuus ravinnosta on suurta yleensä vain nuorimmilla särjillä (Vesijärvi, Horppila ym. 1995). Eutrofisissa vesissä sopivan pohjaeläinravinnon vähetessä tai ravintokilpailun kiristyessä särki voi siirtyä ulapalle syömään yksinomaan eläinplanktonia (Niederholzer & Hofer 1980). Päijänteellä voimakkaan muikkuvuosiluokan on sanottu kiristävän suuresti kilpailua eläinplanktonravinnosta, jolloin siika joutuu siirtymään sekaravintoon, pohjaeläin- ja pintaravintoon (Valkeajärvi, suull. tiedonanto). Voimakas eläinplanktoniin kohdistuva predaatio puolestaan voi veden laadun heikentymisen kautta edistää alueellista rehevöitymiskehitystä järvellä (Keto & Sammalkorpi 1995).

9.4 Etelä-Päijänteen rantavyöhykkeen pohjaeläinbiomassa elinympäristöjakauman perusteella laskettuna

Pohjaeläimistö muodostaa merkittävän osan kalojen ravinnosta. Pohjaeläimistön biomassajakauma onkin eräs kalaston alueellista jakaumaa ohjaavista tekijöistä. Biomassan määrän ja erityisesti sen alueellisen jakauman arviointi helpottaa esimerkiksi istutusten suuntamista oikeille alueille.

Ympäristömuuttujien avulla on eteläisen Päijänteen pohjaeläinbiomassaa arvioitu kahdella eri tavalla. Inarijärvellä kehitetyllä mallitarkastelulla laskettiin Päijänteen eri avoimuustyyppien habitaateille pohjaeläimistön kokonaisbiomassarviot (Hellsten ym. 1996). Avoimilla, aallokolle alttiilla habitaateilla pohjaeläinbiomassa on pienin ja suojaisilla habitaateilla suurin. Mallin soveltuvuutta testattiin Päijänteen suojaisilta habitaateilta kerätyllä aineistolla. Kuvassa 85 on esitetty sekä mallin avulla laskettujen tulosten perusteella eri habitaattien päätyypeille biomassarvoja että kenttäaineiston tulokset. Päijänteen suojaisilla habitaateilla rannan



Kuva 85. Pohjaeläinbiomassa avoimuuden (muoto asteina 0,5 km) suhteen erilaisissa habitaateissa lasketun mallin (Hellsten ym. 1997) mukaan ($\log \text{ mg WW/m}^2 = 4,1544 - 0,0047 \text{ AV}$, yhtenäinen viiva) ja tämän tutkimuksen yhteydessä Päijänteeltä kerätyssä aineistossa havaitut arvot (pisteet).

avoimuus ei vaikuttanut pohjaeläinbiomassaan vaan keskeisempi muuttuja oli rannan kaltevuus. Havaintoarvot vaihtelivat kuitenkin melko hyvin Inarijärven mallin mukaisesti ja mallin esittämää suuruustasoa seuraten.

Kun tunnetaan Etelä-Päijänteeseen rantaviivan pituus ja eri habitaattityyppien keskimääräinen kaltevuus, voidaan laskea Etelä-Päijänteeseen litoraalien eri habitaattityyppien pinta-ala ja edelleen alueellinen pohjaeläinbiomassa (taulukko 23). Alueellinen pohjaeläinbiomassa laskettiin kahdella eri kaavalla: Inarijärvellä kehitetyllä, habitaattityyppien avoimuuteen perustuvalla kaavalla 13 ja tämän tutkimuksen yhteydessä kehitetyllä kaavalla 16, joka perustui suojaisten habitaattityyppien pohjan kaltevuuteen. Avoimuuteen perustuvan kaavan perusteella koko Etelä-Päijänteeseen litoraalien (0-3 m:n syvyydellä) pohjaeläinbiomassa on 432 tonnia (tuorepaino). Tuosta määrästä suojaistilla habitaateilla on yli 90 % eli suojaisten habitaattien merkitys kalojen ravintoalueina näyttäisi olevan todella suuri Etelä-Päijänteellä. Tämän tutkimuksen yhteydessä suojaisten habitaattien pohjaeläinbiomassalle kehitetyn yhtälön mukaan pohjaeläinbiomassa on 30 % pienempi. Avoimuuteen perustuva kaava näyttäisi yliarvioivan pohjaeläinbiomassaa suojaistilla alueilla. Tuota seikkaa korostaa vielä se, että tässä tutkimuksessa tutkimusalueiden keskimääräinen avoimuuskulma oli 30 astetta. Sen perusteella kaltevuuteen perustuva kaava ei ainakaan yliarvioi todellista massaa verrattuna avoimuuteen perustuvaan kaavaan. Jos pidetään havaintoaineistoon perustuvaa yhtälöä parempana arvioimaan suojaisten habitaattien pohjaeläinbiomassaa, saadaan Etelä-Päijänteeseen litoraalien pohjaeläinbiomassan suuruudeksi 308 tonnia (tuorepaino).

Taulukko 23. Etelä-Päijänteeseen pohjaeläinbiomassan alueellinen jakauma ja biomassan arviointi.

| | Rantaviiva (km) | Avoimuus (astetta) | Kaltevuus (%) | Pinta-ala (km²) | MZB (tn WW) (kaava 13) | MZB (tn WW) (kaava 16) |
|--|--------------------|-----------------------|------------------|--------------------|------------------------------|------------------------------|
| Suojaist habitaatit | 565 | 40 | 3,8 | 44 | 408 | 284 |
| Avoimet- ja puoliavoimet habitaatit | 205 | 145 | 8,5 | 7 | 24 | — |
| Yhteensä | 770 | — | — | 51,3 | 432 | (308) |

9.5 Yhteenveto

Pohjaeläinbiomassa vaihteli 0,02-6,34 g ODW/m². Korkeimmat arvot ovat suurempia kuin aiemmin Päijänteeltä havaitut, joka voi johtua erilaisesta näytteenottoapaikkojen valinnasta ja erilaisesta näytteenottoajankohdasta. Tulevaisuudessa vertailtavuutta parantaa tässä tehty pohjaeläinbiomassan ja mitattujen taustamuuttujien välisten riippuvuuksien tarkastelu, jolloin biomassavertailussa erilaisuudet näytteenottoalueiden morfo-edafisissa ominaisuuksissa voidaan ottaa paremmin huomioon. Vertailtavuuden kannalta syksy on paras näytteenottoajankohta ja kesikesä huonoin. Kesällä hyönteiset ovat suurelta osin aikuistuneet ja poissa vesiympäristöstä. Koko lajistosta saisi edustavimman kuvan, jos näytteet otettaisiin sekä keväällä että syksyllä.

Havaitut pohjaeläinbiomassat noudattivat melko hyvin avoimille habitaateille kehitetyllä mallilla näytepaikoille laskettuja pohjaeläinbiomassa-arvoja. Havaintoaineiston perusteella tehdyn testin tulokset osoittivat, että Päijänteen suojaisilla habitaateilla rannan kaltevuus -muuttuja selitti pohjaeläinbiomassaa parhaiten. Taustamuuttujien tarkastelun perusteella kasvillisuus ja kaltevuus olivat riippuvia toisistaan.

Näytepaikoilta tavattiin yhteensä 17 eri pohjaeläinryhmää. Biomassaltaan valitsevat ryhmät olivat sudenkorennot, kotilot, kaksisiipiset ja äyriäiset. Tutkimuksen tulosten perusteella voidaan sanoa, että pohjaeläimistö on hyvin monipuolista Etelä-Päijänteen lahtialueilla. Kokonaisbiomassat eivät muodostu vain muutamista ryhmistä, joka on tyypillistä voimakkaasti rehevöityneissä vesissä.

Päijänteen suojaisilla habitaateilla havaittuja pohjaeläinmassa-arvoja verrattiin vedenkorkeuden vaihtelun vaikutuksia kuvaavan mallilaskelman arvoihin, joissa lähtötietoina käytettiin nykyisiä säännöstelyjä vedenkorkeustietoja ja luonnonmukaiseksi palautettuja vedenkorkeusarvoja. Tarkastelun perusteella toteutetulla säännöstelykäytännöllä pohjaeläinmassa on luonnonmukaista pienempi; se on 59 % säännöstelemättömästä arvosta. Syksyllä 1997 kerätyn havaintomateriaalin perusteella pohjaeläinmassa oli kuitenkin selvästi suurempi kuin mallilaskelmilla saadut arvot. Näytteistä laskettu arvo on 3-kertainen säännöstelemättömään arvoon verrattuna. Malli ei ota huomioon pohjarinteen kaltevuutta eikä kasvillisuuden vaikutuksia, jotka todettiin tämän havaintoaineiston perusteella pohjaeläinbiomassaan merkitsevästi vaikuttaviksi tekijöiksi suojaisilla habitaateilla. On myös todettava, että tutkimuksen lähtöhypoteesissa oletettiin kaltevuuden ja kasvillisuuden olevan keskeisiä lahtialueiden sukkessiokehityksessä (pinnan- ja pohjanmyötäinen umpeenkasvu). Päijänteen voimakkaimmin kasvittuneilla alueilla vallitsivat pohjaeläimistössä suurikokoiset sudenkorennot, kotilot, äyriäiset ja kaksisiipiset.

Päijänteen rantavyöhykkeen pääelinympäristöt

Hellsten, S.¹⁾, Palomäki, R.²⁾, Lammi, E.³⁾, Nuortimo, K.¹⁾,
Savolainen, M.¹⁾ ja Venetvaara, J.³⁾

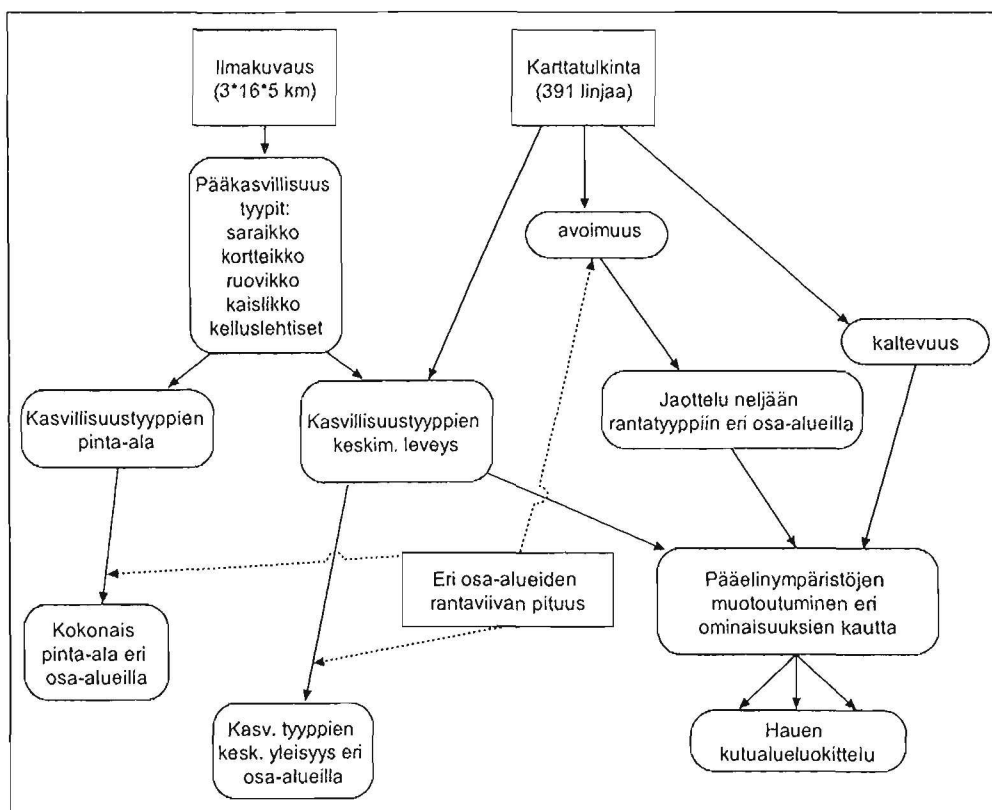
¹⁾VTT Yhdyskuntatekniikka, vesi- ja ekotekniikka

²⁾Keski-Suomen ympäristökeskus

³⁾Biologitoimisto Jari Venetvaara ky.

10.1 Yleistä

Elinympäristökartoitus pohjautui kahteen eri joukkoon muuttujia, jotka on eritelty kuvassa 86. Ilmakuvauksen kohdealueet, 48 viiden kilometrin pituista rantaviivaa valittiin satunnaismenetelmällä ja ne edustivat tilastollisesti merkittävää osaa koko Päijänteen rantaviivasta. Kohdealueiden ilmakuvatulkinnan perusteella voitiin pääkasvillisuusalueiden (saraikkoniityt, kortteikot, ruovikot, kaislikot, kelluslehtiset) pinta-aloja tarkastella Päijänteellä osa-alueittain. Kohdealueen ympäristömuuttujat sen sijaan mitattiin digitaalisille karttapohjille sijoitetuilta pisteiltä (391 kpl). Kasvillisuusmuuttujien leveyttä ja lukumäärää tarkasteltiin täten myös pistekohtaisesti. Rantatyyppien luokittelu perustui pelkästään pistekohtaiseen aineistoon.



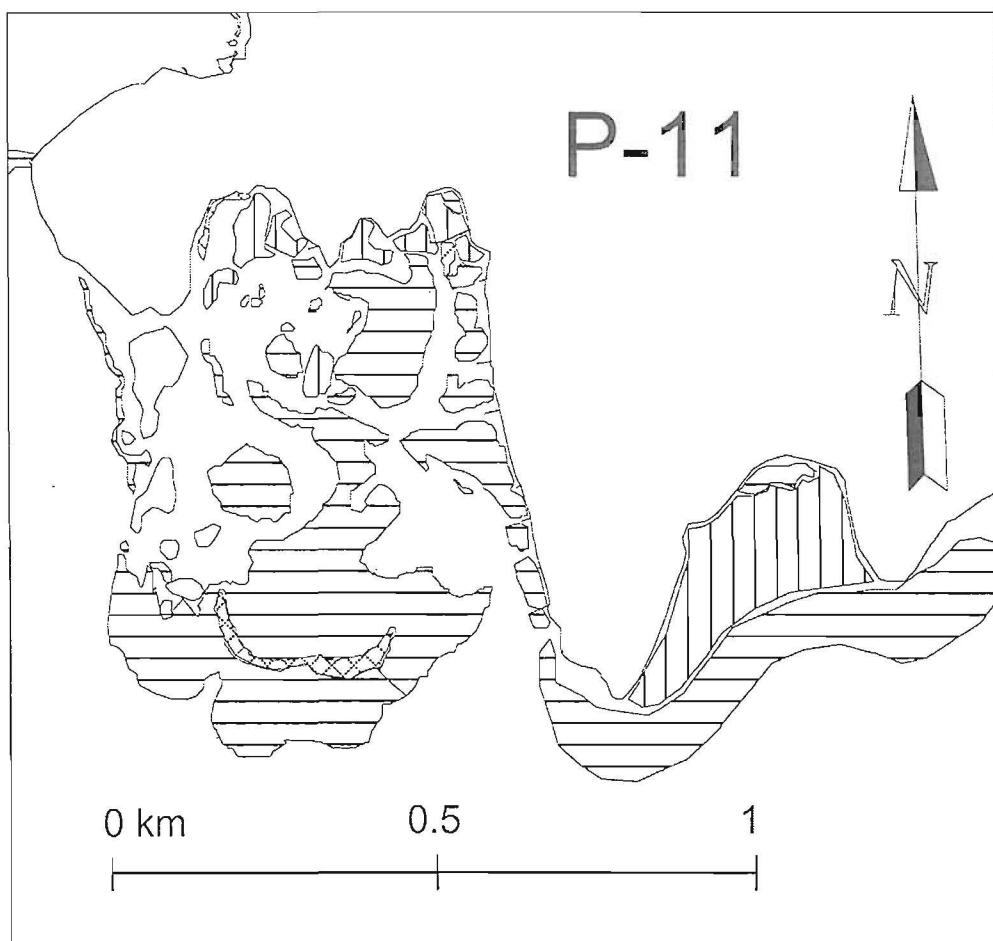
Kuva 86. Päijänteen elinympäristöaineiston kuvauksen pääsuuntaviivat.

Seuraavissa kappaleista tarkastellaan ympäristö- ja kasvillisuusmuuttujien välisiä riippuvuussuhteita, luokitteluja ja niiden soveltuvuutta järven eri käyttömuotojen ja eliöryhmien tarpeiden kuvaajiksi. Lopuksi esitetään arvio eri elinympäristöjen kehitysnäkymistä. Eri elinympäristöjen kunnostamismahdollisuudet on koottu viimeiseen kappaleeseen.

10.2 Pääkasvillisuustyypit

10.2.1 Pinta-ala jakauma

Ilmakuvatulkinnessa tehtiin karkea luokittelu saraikkoniittyihin, kortteikkoon, ruovikoihin, kaislikoihin ja kelluslehtisiin. Kuvassa 87 on esimerkinomaisesti kuvattu ilmakuvausta piirrettyä, digitoitua ja paikkatietojärjestelmään siirrettyä lahti-alueita. Rantaviivan avovedestä tehokkaasti eristävät järvi-ruovikot näkyvät hyvin ilmakuvausta ja suojaisissa lahdenpohjukoissa saraikko muodostaa sisimmän vyöhykkeen osin kuivalla rannalla (eulitoraali). Kelluslehtisten kasvustot viihtyvät parhaiten kaikkein suojaisimmilla ja pehmeäpohjaisimmilla alueilla. Maastossa tehdyissä tarkistuksissa havaittiin, että jyrkillä metsän varjostamilla rannoilla ainakin osa saraikkovyöhykkeestä ei näy ilmakuvausta ja myös kortteikko todennäköisesti jää osittain havaitsematta.



Kuva 87. Ilmakuvilta tulkitut pääkasvillisuusalueet osa-alueella P1 I. Vinoviivoitus = kelluslehtiset, vaakaviivoitus = ruovikko, pystyviivoitus = kortteikko, kenoviivoitus = saraikko ja rasteriviivoitus = kaislikko

Ilmakuvien vertikaalikorjauksen puuttuminen vaikeutti merkittävästi kasvillisuusvyöhykkeiden sijoittamista paikkatietojärjestelmään. Pinta-alojen muuttumisen vuoksi suurimuotoista kuvamuokkausta ei tehty, joten kasvillisuusvyöhykkeet eivät kaikin osin "istuneet" kuviin. Toinen ongelma oli myös digitaalisen peruskarttoihin perustuvan rantaviivan virheellisyys, joka näkyy kasvillisuusvyöhykkeen ja kuivan maan väliin jäävänä "vesialueena". Vääristymään voi olla syynä joko umpeenkasvu tai kartantekijän huolimattomuus.

Ilmakuvatulkinnan perusteella eri pääkasvillisuusalueiden pinta-alat poikkeavat selkeästi osa-alueittain (Taulukko 24). Eri pääkasvillisuusalueiden pinta-alat on laskettu rantaviivan pituuden perusteella eikä esimerkiksi rantavyöhykkeen kaltevuutta ole otettu huomioon. Pääkasvillisuustyypeistä ruovikot olivat selkeästi yleisimpiä; pinta-alallisesti niitä oli Keski- ja Pohjois-Päijänteellä selvästi enemmän kuin Etelä-Päijänteellä. Tähän vaikuttaa todennäköisesti rantavyöhykkeen pienempi kaltevuus, jolloin ruovikolla on enemmän kasvutilaa Etelä-Päijänteellä. Kortteikon pinta-ala on ilmeisesti voimakkaasti aliarvioitu, mutta kelluslehtisten määrä lienee lähellä todellista arvoa. Kaislikoiden vähäiseen määrään lienee vaikuttanut sattuma, koska kaislikoita oli myös Etelä-Päijänteellä. Kelluslehtiset ovat keskittyneet erityisesti Keski-Päijänteen alueelle, kuten myös muut kenttätutkimukset ovat osoittaneet. Saraikon pinta-alaksi on arvioitu miltei 600 hehtaaria. Yli puolet näistä alueista sijaitsi Keski-Päijänteellä. Kasvillisuustyyppien havaittua ja laskennallista pinta-alaa on verrattu tarkemmin luvussa 10.4.

10.2.2 Esiintymistiheys ja siihen vaikuttavat tekijät

Pääkasvillisuustyyppien esiintymiseen vaikuttavia tekijöitä on tarkasteltu käyttäen pistekohtaisia kasvillisuus- ja ympäristömuuttuja-arvoja, koska kasvustojen pinta-aloja ei ole mielekästä käyttää pistemittauksiin perustuvien ympäristömuuttujien kanssa. Eri osa-alueiden avoimuus- (fetch, muoto) ja kaltevuusmittausten tulokset on esitetty taulukossa 25. Tuloksiin on yhdistetty paikkatietokannoissa tehdyt kasvillisuusvyöhykkeiden leveyden ja lukumäärän mittaukset.

Rannat olivat kaikkein suojaisimpia Keski-Päijänteellä fetchin ja kilometrin avautumiskulmalla mitatun muodon perusteella laskettuna. Kaltevuudessa ei ollut suuria eroja eri osien välillä, vaikka Etelä-Päijänne olikin jyrkin. Kaltevuustuloksiin tulee kuitenkin suhtautua hyvin kriittisesti, koska kolmen metrin syvyyskäyrään mitattu kaltevuus ei anna luotettavaa kuvaa ylimmän rantavyöhykkeen kaltevuudesta.

Kaikki kasvillisuusvyöhykkeet kelluslehtisiä lukuunottamatta ovat selvästi leveimpiä siirryttäessä kohti Päijänteen pohjoisimpia osia (taulukko 25). Kelluslehtivyöhykkeet olivat taas hyvin leveitä keskisellä Päijänteellä kuten myös aikaisemmissakin tutkimuksissa on todettu. Ilmiön syynä lienee rantojen loivuus, joka

Taulukko 24. Päijänteen kasvillisuusalueiden pinta-ala ilmakuvatuilta alueilta laskettuna (IK) ja rantaviivan tunnetun pituuden perusteella laskettuna koko osa-alueelle (OA).

| | Etelä-Päijänne | | Keski-Päijänne | | Pohjois-Päijänne | | Yhteensä |
|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------|
| | IK km ² | OA km ² | IK km ² | OA km ² | IK km ² | OA km ² | |
| Saraikko | 0,125 | 1,25 | 0,319 | 3,19 | 0,150 | 1,25 | 5,69 |
| Kortteikko | 0,001 | 0,01 | 0,004 | 0,04 | 0,060 | 0,50 | 0,55 |
| Järviruovikko | 1,181 | 11,81 | 2,247 | 22,47 | 2,364 | 19,70 | 53,98 |
| Kaislikko | - | - | 0,002 | 0,02 | 0,009 | 0,08 | 0,10 |
| Kelluslehtiset | 0,058 | 0,58 | 0,442 | 4,42 | 0,266 | 2,22 | 7,22 |
| Yhteensä | 1,239 | 12,39 | 2,691 | 26,91 | 2,639 | 21,99 | 61,29 |

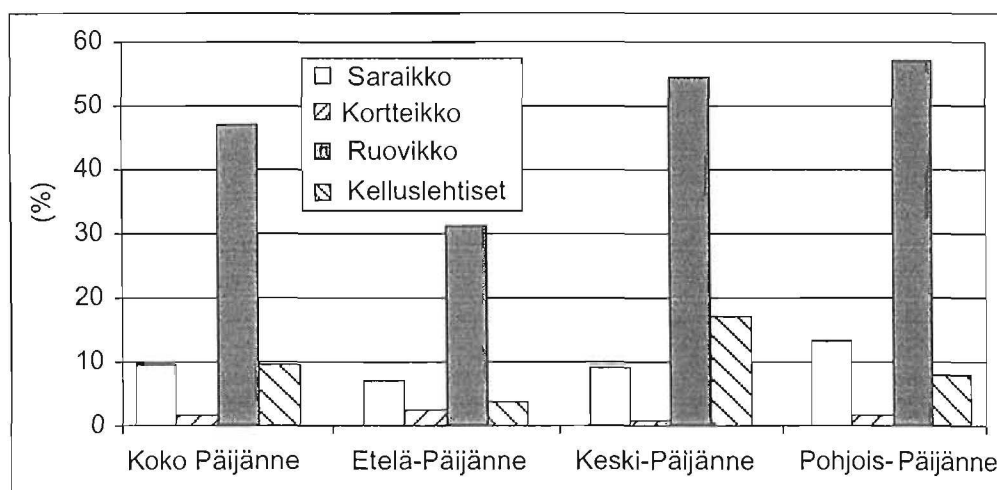
Taulukko 25. Pääkasvillisuustyyppien keskimääräiset leveydet ja ympäristömuuttujien keskimääräiset arvot pistekohtaisen aineiston perusteella laskettuna.

| | Etelä-Päijänne | Keski-Päijänne | Pohjois-Päijänne |
|---------------------------------|----------------|----------------|------------------|
| Havaintoja | 128 | 130 | 131 |
| Rantaviivan kokonaispituus (km) | 791 | 807 | 650 |
| Fetch (m) | 1294 | 1033 | 1053 |
| Avoimuus 1 km (astetta) | 46 | 43 | 48 |
| Avoimuus 0,5 km (astetta) | 68 | 73 | 76 |
| Kaltevuus (%) | 4,7 | 5 | 5 |
| Saraikon leveys (m) | 2,8 | 3,7 | 4,4 |
| Kortteikon leveys (m) | 0,7 | 0,3 | 0,8 |
| Järviruovikon leveys (m) | 17,5 | 31,3 | 39,0 |
| Kelluslehtisten leveys (m) | 1,3 | 11 | 5,3 |
| Kokonaisleveys (m) | 22,3 | 46,6 | 48,9 |

ei tosin juurikaan näy kolmen metrin syvyyskäyrään mitatuissa havainnoissa, mutta tuli selvästi esiin tutkimuslinjoilla tehdyissä vaa'ituksissa erityisesti Pohjois-Päijänteellä (kuva 22).

Esiintymisfrekvenssejä tarkasteltaessa kiinnittyy huomio ruovikoiden suureen yleisyyteen (kuva 88). Pohjois- ja Keski-Päijänteellä niitä tavattiin joka toisella rannalla, mutta Etelä-Päijänteellä vain joka kolmannella rannalla. Tuloksia tarkasteltaessa tulee muistaa, että kyseessä ovat kaikki rannat, joten ruovikoituminen näyttää olevan erittäin suuri ongelma. Etelä-Päijänteen ruovikoiden vähäisyys on osin ristiriidassa umpeenkasvuindikaattorituloksen kanssa, jossa erityisesti ruo'on osuus Etelä-Päijänteellä nousee hyvin suureksi. Tuloksen erilaisuuteen vaikuttaa kaksi eri tekijää; indikaattoriaineisto on kerätty pelkästään suojaisilta rannoilta, joita on Etelä-Päijänteellä keskimääräistä vähemmän. Toisena tekijänä on rannan suurempi jyrkkyys, joka keskittää ruovikon kapeammalle alueelle nostaten niiden umpeenkasvuindeksiin vaikuttavaa esiintymistodennäköisyyttä.

Yleisesti ottaen tulokset eivät ole kaikin osin samansuuntaisia kuin pinta-alaan perustuva tarkastelu, koska esimerkiksi ruovikot ovat pinta-alallisesti laajimpia Keski-Päijänteellä, mutta niiden esiintymisfrekvenssi on kaikista suurin Pohjois-Päijänteellä. Keskimäärin ruovikoiden esiintymisfrekvenssi on 47 %, kelluslehtisten 10 %, saraikkojen 9,8 % ja kortteikkojen ainoastaan 1,5 %. Tästä joukosta ainoastaan ruovikkojen ja kelluslehtisten esiintymisfrekvenssiä voidaan pitää jokseenkin luotettavana edellisissä kappaleissa kuvatuista määrittäsvaikeuksista johtuen.



Kuva 88. Pääkasvillisuustyyppien esiintymisfrekvenssi Päijänteen eri osa-alueilla.

Huolimatta edellisessä kappaleessa todetusta kasvillisuusvyöhykkeiden keskimääräisten leveyksien riippuvuudesta rannan kaltevuutta ja avoimuutta kuvaaviin muuttujiin ei kuitenkaan kasvillisuus- ja ympäristömuuttujien välillä ollut tilastollisesti merkittävää riippuvuussuhdetta (taulukko 26).

10.3 Pääelinympäristöjen määräytyminen ja jakauma

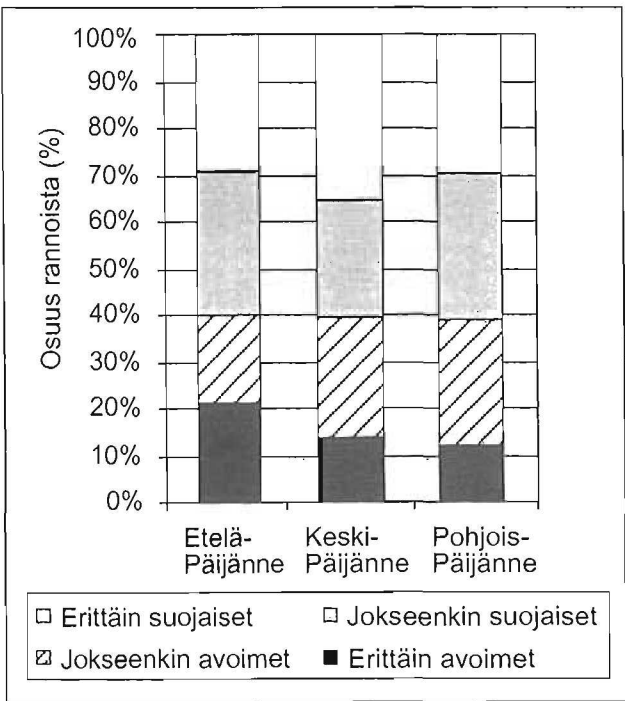
10.3.1 Rantatyyppijako luokittelun perusteena

Rantavyöhykkeen eliöyhteisöjen kannalta merkittävimmät muuttujat ovat rannan avoimuus ja toisaalta voimakkaasti kasvillisuuden vyöhykkeisyyteen vaikuttava rannan kaltevuus. Elinympäristöluokittelun perustana tulee olla fysikaalinen (eloton) luokittelu, josta kasvillisuustyyppien (elollinen) esiintymisen kautta muotoutuvat varsinaiset pääelinympäristöt (habitaatit). Luokittelun perustaksi valittiin avoimuuteen perustuva rantatyyppiluokittelu, jonka mm. Palomäki (1992) ja Palomäki & Hellsten (1996) ovat esittäneet parhaiten kuvaavan rannan elinympäristöjä. Avoimuuden mittarina käytettiin fetch (km) arvoa, joiden perusteella rannat jaettiin erittäin avoimiin (fetch > 2.0 km), jokseenkin avoimiin (fetch > 1 km ja ≤ 2 km), jokseenkin suojaisiin (fetch ≤ 1.0 ja > 0,5) ja erittäin suojaisiin (fetch ≤ 0,5) Hellstenin ym (1989) käyttämän luokittelun perusteella.

Luokittelun perusteella yllättäen yli 60 % rantaviivasta näytti kuuluvan suojaisiin rantoihin (kuva 89). Ainoastaan Etelä-Päijänne näytti omaavan muita enemmän erittäin avoimia rantoja. Ilmiö selittyy osin sillä, että rantaviiva on yleensä pidempi

Taulukko 26. Kasvillisuus- ja ympäristömuuttujien välinen Pearsonin korrelaatio.

| | Fetch (km) | Muoto 1km (aste) | Muoto 0,5 km (aste) | Kaltevuus (%) |
|-------------------------|---------------|---------------------|------------------------|------------------|
| Järviruovikko (m) | 0,18 | 0,23 | 0,23 | 0,40 |
| Kelluslehtiset (m) | 0,30 | 0,27 | 0,30 | 0,25 |
| Saraikko (m) | 0,15 | 0,17 | 0,13 | 0,32 |
| Vyöhykk. kok.leveys (m) | 0,20 | 0,21 | 0,26 | 0,29 |
| Vyöhykkeiden lkm (kpl) | 0,23 | 0,22 | 0,28 | 0,30 |



Kuva 89. Avoimuuteen perustuva rantatyyppien jakauma Päijänteen eri osa-alueilla.

suojaisilla lahtialueilla, joilloin sen suhteellinenkin osuus on siten suuri. Lisäksi suuri osa Päijänteen selkävesistä on loppujen lopuksi melko kapeita. Tarkasteltaessa puolen kilometrin avautumiskulman perusteella samaa jakaumaa, saadaan suojaisen (alle 90 astetta) osuudeksi peräti 68,3 %, joka on myös samaa suuruusluokkaa avoimuuteen perustuvan luokittelun kanssa.

Fyysisen luokittelun avulla eriteltyjen rantatyyppien ominaisuuksia on eritelty taulukossa 27. Useimman pääkasvillisuustyyppit ja myös muut elinympäristöä kuvaavat ominaisuudet ovat selvässä korrelaatioissa avoimuuden kanssa vaikka tilastolliset riippuvaisuudet jäivät hyvinkin heikoiksi. Huomio kiinnittyy esimerkiksi ruovikoiden esiintymiseen hyvin avoimilla rannoilla, kun taas kelluslehtiset rajautuvat erittäin avointen rantatyyppien ulkopuolelle. Kasvillisuusvyöhykkeiden leveys kasvaa myös hyvin selvästi siirryttäessä avoimilta rannoilta suojaisille. Ainoastaan kortteikot ilmeisesti juuri tunnistamisvaikeuksista johtuen eivät käytädy loogisesti avoimuuden suhteen.

Rantavyöhykkeen monimuotoisuutta kuvaavan monivyöhykkeisyyden arvo kasvaa selvästi siirryttäessä avoimilta rannoilta suojaisille, kun taas kasvittomat rannat ovat myös avoimimpia. Puhtaat ruovikot välttelevät selvästi kaikkein suojaisimpia rantoja. Avoimimmat rannat ovat kaikkein jyrkimpiä rantoja, mutta jyrkkyys ei vähene suoraviivaisesti siirryttäessä hyvin suojaisille rannoille.

10.3.2 Pääelinympäristöjen muotoutuminen; esimerkkinä haukien lisääntymisalueet

Päijänteen pääelinympäristöt (habitaatit) muotoutuvat elottoman (rantatyyppit) ja elollisen (pääkasvillisuustyyppit) osan yhteenliittymänä, vaikka myös pelkkiä rantatyyppejä voidaan kutsua myös elinympäristöiksi. Luokittelun taso riippuu suurelta

Taulukko 27. Pääkasvillisuustyyppien esiintymisfrekvenssi (%), leveys (m), vyöhykkeisyys ja eri ympäristömuuttujien keskimääräiset arvot Päijänteen rantatyypeillä. ¹⁾Kaltevuutta ei voitu mitata yhdellä jokseenkin avoimella, yhdeksällä jokseenkin suojaisella ja kahdellakymmenellä neljällä erittäin suojaisella rannalla.

| | | Erittäin avoimet | Jokseenkin avoimet | Jokseenkin suojaiset | Erittäin suojaiset |
|----------------------------------|--------|------------------|--------------------|----------------------|--------------------|
| Havaintoja | (kpl) | 61 | 92 | 115 | 122 |
| Saraikko | (m) | 11,0 | 28,7 | 33,4 | 41,0 |
| | (%) | 1,6 | 3,3 | 8,7 | 19,7 |
| Kortteikko | (m) | 25,0 | 16,0 | 52,0 | - |
| | (%) | 3,3 | 1,1 | 2,6 | - |
| Ruovikko | (m) | 39,7 | 55,1 | 57,4 | 77,2 |
| | (%) | 26,2 | 40,2 | 53,9 | 55,7 |
| Kelluslehtiset | (m) | - | 33,2 | 51,1 | 75,1 |
| | (%) | - | 5,4 | 8,7 | 18,0 |
| Monivyöhykkeisyys | (%) | 4,9 | 6,5 | 14,8 | 30,3 |
| Kasvittomat | (%) | 73,8 | 56,5 | 45,2 | 41,0 |
| Vain ruovikko | (%) | 21,3 | 33,7 | 39,1 | 27,0 |
| Kelluslehtiset ja/tai kortteikko | (%) | 3,3 | 6,5 | 7,0 | 12,3 |
| Saraikkoa ja muu vyöhyke | (%) | 1,6 | 3,3 | 8,7 | 19,7 |
| Yhteensä leveys | (m) | 11,4 | 25,1 | 38,9 | 64,6 |
| Fetch | (m) | 2991,8 | 1433,2 | 722,2 | 331,4 |
| Avoimuus 1 km | (ast.) | 106,5 | 69,0 | 31,0 | 10,0 |
| Avoimuus 0,5 km | (ast.) | 126,9 | 105,6 | 65,3 | 26,3 |
| Kaltevuus ¹⁾ | (%) | 6,6 | 5,9 | 4,6 | 5,0 |

osin siitä, mitä eliöyhteisöä halutaan kuvattavan. Otettaessa kasvillisuus- ja vyöhykkeisyyshypit mukaan luokitteluun, voidaan esimerkiksi ekologisesti tärkeimmät tai erityistä kunnostusta kaipaavat rannat erotella.

Päijänteen säännöstelytutkimuksessa nousi erityisen tärkeäksi rantavyöhykkeellä tapahtuneiden muutosten vaikutukset haukikantaan (Korhonen 1999). Päijänteellä ja vertailujärvenä käytetyllä Konnevedellä tehdyn kaksivuotisen haukitutkimuksen perusteella todettiin hauen poikastuotannon riippuvan merkittävästi kutualueen kasvillisuuden vyöhykkeisyydestä. Mitä monipuolisempi ja täydellisempi on vyöhykkeisyys sitä suurempi on poikastiheys. Haukitutkimuksen koalueet ilmakuvattiin ja analysoitiin samalla menetelmällä kuin elinympäristötutkimuksen koalueet. Ilmakuvauksen tueksi ja tarkennukseksi tehtiin melko tarkka maastotoselvitys, jonka perusteella hauen lisääntymisaluet luokiteltiin viiteen eri luokkaan seuraavasti: 0=kasviton ranta, 1=avoin, ei saraikkoa, harva kasvillisuus, 2=suojainen, ei saraikkoa, harva kasvillisuus, 3=suojainen, kaksoisvyöhykkeisyys (sara-ruoko/korte), 4=suojainen, täydellinen vyöhykkeisyys (sara-korte-ruoko/kaisla-uposlehtiset).

Elinympäristökartoituksen perusteella Päijänteen eri osa-alueilta määritettiin eri luokkien suhteellinen osuus (taulukko 28). Tuloksia tarkastellessa kiinnittyy huomio luokan 1 ja 4 vähäisiin osuuksiin. Ykkösluokka ei yksinkertaisesti erotu ilmakuvilta, kun taas nelösluokka todennäköisesti sekoittuu kolmosluokan kanssa. Tulokset ovat kuitenkin hyvin samansuuntaisia kuin muutkin elinympäristökartoitukset. Etelä-Päijänteellä avointen kasvittomien rantojen osuus on hyvin suuri, kun taas monimuotoisimmat kasvillisuusrannat keskittyvät Pohjois- ja Keski-Päijänteelle. Sopivien kutualueiden (luokat 3 ja 4) määrä saattaa olla haukikantojen kehittymistäkin rajoittava tekijä eteläisellä Päijänteellä. Aihetta on käsitelty tarkemmin Korhosen (1999) tutkimuksessa.

Luokittelun yksinkertaistamiseksi ja mahdollisimman hyvän luokittelun luomiseksi hauen kannalta tärkeille elinympäristöille luokat 0 ja 1 yhdistettiin ja tulokittiin että kaikki kasvittomat rannat kuuluvat tähän luokkaan (51%). Kasvipeitteiset rannat jaettiin jyrkkyyden perusteella jyrkkiin (yli 2,5 % kaltevuus) ja loiviin (alle 2,5 % kaltevuus). Suojaisia jyrkkiä oli 21 % ja suojaisia loivia taas 28 %. Suojaisen loivien rantojen katsottiin edustavan parasta potentiaalista kutualueutta ja hauille ensisijaisten kutualueiden (saraikkojen) sekä myös toissijaisten (kortteikko) oletettiin sijaitsevan näillä rannoilla. Arvio ei perustu suoraan ilmakuvausten kasvillisuustyyppiarvion tuloksiin johtuen juuri kortteikkojen ja saraikkojen huonosta erottuvuudesta, mutta antaa luotettavan kuvan todellisesta tilanteesta.

Taulukko 28 . Hauen kutualueuokituksen perustuva rantatyyppien jakauma Päijänteen eri osissa.

| | Pohjois-Päijänne (%) | Keski-Päijänne (%) | Etelä-Päijänne (%) | Keskiarvo (%) |
|----------|----------------------|--------------------|--------------------|---------------|
| 0 | 43,2 | 43,8 | 66,7 | 51,2 |
| 1 | 1,5 | 1,5 | 0 | 1,0 |
| 2 | 42,4 | 45,4 | 26,3 | 38,0 |
| 3 | 9,9 | 9,3 | 7 | 8,7 |
| 4 | 3 | 0 | 0 | 1,0 |
| Yhteensä | 100 | 100 | 100 | 100 |

10.3.3 Elinympäristöjen merkitys rantavyöhykkeen eliöstölle ja käytölle

Elinympäristöjen merkitystä on arvioitu eri eliöryhmien ja moninaiskäytön kannalta taulukossa 29. Perusluokitteluna on edelleen viisiportainen haukien kutualueiden luokittelu, joka kuten edellisessä kappaleessa on todettu, voidaan edelleen muuttaa kolmiportaiseksi yleisluokitteluksi. Taulukko 29 on laadittu asiantuntija-arviona Päijänteen säännöstelyn kehittämisselvityksen luontoryhmän kokouksessa.

Taulukkoa 29 tarkastellessa voidaan havaita eri eliöryhmien elinpaikkavaatiusten sekä myös moninaiskäytön intressien olevan varsin ristiriitaisia. Useimpien eliöryhmien kannalta rannan kasvillisuuden lisääntyminen lisää niiden viihtyvyyttä, mutta moninaiskäytön kannalta ovat kasvittomat rannat keskimäärin parempia.

Taulukko 29. Eri elinympäristöjen merkitys eliöryhmien ja moninaiskäytön kannalta. Perustana haukien kutualueiden luokittelu (Korhonen 1999). 0=kasviton ranta, 1=avoin, ei saraikkoa, harva kasvillisuus, 2=suojainen, ei saraikkoa, harva kasvillisuus, 3=suojainen, kaksoisvyöhykkeisyys (sara-ruoko/korte), 4=suojainen, täydellinen vyöhykkeisyys (sara-korte-ruoko/kaisla-uposlehtiset). Luokat 0-1 ja 3-4 voidaan yhdistää toisiinsa luokittelun yksinkertaistamiseksi. Luokittelu on arvioitu seuraavasti, kauttaviivalla on erotettu vaihtoehtoinen muuttujaa paremmin kuvaava termi: ++ = hyötty voimakkaasti/paras/suurin/sopivin, + = hyötty jonkinverran/parempi/suurempi/sopivampi, 0 = ei vaikutusta, - = kärsii jonkinverran/huonompi/pienempi/sopimattomampi, -- = kärsii voimakkaasti/huonoin/pienin/sopimattomin.

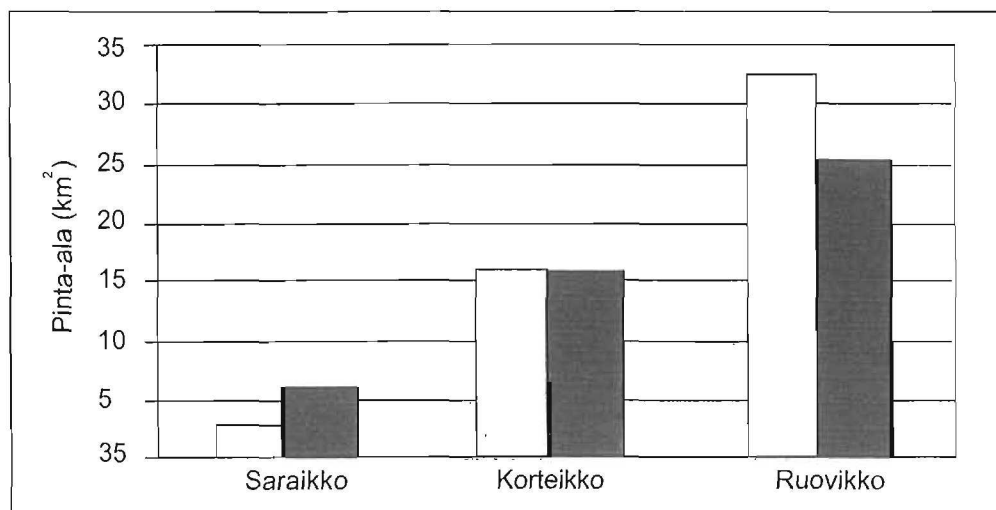
| ELIÖRYHMÄT | Elinympäristöluokat | | | | |
|------------------------|---------------------|----|----|----|-----|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Kasvillisuus | | | | | |
| Monimuotoisuus | -- | - | + | ++ | ++? |
| Pohjalehtiset | 0 | + | ++ | + | - |
| Saraikko | -- | -- | 0 | ++ | ++ |
| Pohjaeläimistö | | | | | |
| Biomassa | -- | - | + | + | ++ |
| Monimuotoisuus | -- | 0 | + | ++ | ++? |
| Kalasto | | | | | |
| Hauki | -- | -- | 0 | + | ++ |
| Siika, muikku | + | ++ | 0 | -- | -- |
| Vähäarvoiset kalat | -- | - | 0 | + | ++ |
| Rapu | - | + | ++ | + | - |
| Linnut | | | | | |
| Monimuotoisuus | 0 | 0 | + | + | ++ |
| Runsas | 0 | 0 | + | + | ++ |
| Kuikka | ++ | + | - | -- | -- |
| Uikut | -- | - | + | ++ | ++ |
| Sorsalinnut | - | 0 | + | ++ | + |
| Piisami | -- | -- | - | + | ++ |
| MONINAISKÄYTTÖ | | | | | |
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Virkistyskäyttö | | | | | |
| Veneily | 0 | + | + | - | -- |
| Uinti | ++ | + | 0 | - | -- |
| Kalastus | | | | | |
| ahven, hauki | 0 | 0 | + | ++ | + |
| siika, muikku, taimen | + | 0 | - | -- | -- |
| Metsästys | - | - | 0 | + | ++ |
| Maisema | | | | | |
| ”tyyppimaisema” | ++ | + | 0 | - | -- |
| Vesiensuojelu | | | | | |
| ”kuormituspuskuri” | -- | - | 0 | + | ++ |

10.4 Vedenkorkeuden säännöstelyn vaikutus pääkasvillisuustyyppien pinta-alaan

Vedenkorkeuden säännöstelyn vaikutusta pääelinympäristöjen määrään voidaan tarkastella luvussa 6.5.3 esitettyjen riippuvuussuhteiden perusteella, kun tunnetaan erilaisten pääelinympäristöjen jakauma (kts. 10.2.2.). Rantavyöhykkeen keskimääräisenä kaltevuutena käytettiin maastomittausten perusteella saatuja tuloksia, joiden perusteella voitiin määrittää vedenkorkeus-pinta-ala käyrä. Tässä yhteydessä on huomattava, että pinta-ala edustaa suhteellisen suojaista lahtia, mutta kaltevuuden ero avointen ja suojaisten rantojen välillä on suhteellisen vähäinen.

Ilmakuvatulokinnassa saatiin ruovikkoa sisältävien rantojen osuudeksi 47 %. Sen sijaan kortteikkoiden ja saraikkojen määrän arviointi oli huomattavasti vaikeampaa, koska ne eivät erottuneet ilmakuvista riittävällä tarkkuudella. Saraikkoja tavattiin ilmakuvatulokinnan perusteella vain 9,8 %:lla ja kortteikkoja vain 1,5 %:lla rannoista. Toisaalta miltei kaikilla maastotutkimuksen kohderannoilla tavattiin saraikkoja ja kortteikkojenkin osuus oli 62 %. Saraikkojen ja kortteikkojen osuuden arvioinnissa jouduttiinkin turvautumaan hauen kutualueluokituksen oletukseen, että suojaisten ja loivien rantojen osuus on 28 % koko rantaviivasta (kts. 10.3.2.). Ruovikkojen, kortteikkojen ja saraikkojen määrä nykyisen ja palutetun vedenkorkeuden vaihtelun vallitessa on esitetty kuvassa 90.

Verrattaessa saraikkojen laskennallista pinta-alaa (3,0 km²) taulukossa 24 esitettyyn ilmakuvilta määritettyyn pinta-alaan (5,7 km²), voidaan todeta laskennallisen pinta-alan olevan selvästi liian pieni. Ilmeisesti saraikkoihin on tulkittu myös jonkin verran muita ranta-niittyjä, jotka ulottuvat reilusti vedenkorkeusvaihtelu-vyöhykkeen yläpuolelle. Toisaalta voidaan myös olettaa saraikkojen olevan esiintyessään erittäin laaja-alaisia ja keskittyvän hyvin suojaisille, loiville rannoille. Täten pääasiassa esiintymistiheyteen perustuva laskennallinen pinta-ala antaa liian pieniä arvoja. Säännöstelyn vaikutus on kuitenkin todennäköisesti suhteessa hyvin lähellä laskettua: saraikkojen pinta-ala on supistunut ainakin puoleen luonnontilaisesta (kuva 90).



Kuva 90. Säännöstelyn vaikutus ilmaversoiskasvillisuuden pinta-aloihin. Valkoiset pylväät = laskettu 1971-1995 havaittujen vedenkorkeuksien mukaan, mustat pylväät = laskettu 1971-1995 palautettujen vedenkorkeuksien mukaan.

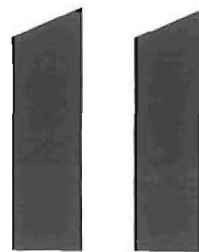
Kortteikkojen osalta sekä laskennallisen pinta-alan (16,2 km²) ja ilmakuvilta määritetyn pinta-alan (0,6 km²) välinen ero on ilmakuvien tulkinta ongelmien vuoksi erittäin suuri. Todennäköisesti ero säännöstellyn ja luonnonmukaisen tilanteen välillä on ollut kuvassa 90 esityn mukaisesti hyvin vähäinen.

Ruovikon laskettu nykypinta-ala 32,5 km² on yllättävän lähellä ilmakuvilta määritettyä 54 km², vaikka laskettu jääkin saraikkojen tapaan havaittua selvästi pienemmäksi. Myös tässä tapauksessa voidaan olettaa keskimääräisen kaltevuuden käyttämisen aliarvioivan tuloksia. Kuvassa 90 esitetty säännöstelyn aiheuttama laskennallinen 29 %:n lisäys ruovikoiden pinta-alassa on myös hämmästyttävän lähellä 1950-luvun ja vuoden 1996 ilmakuvien vertailun perusteella saatua 46 %:n lisäystä, johon tulee vielä ottaa huomioon esimerkiksi vähentyneen ruovikon niiton ja rehevöitymisen vaikutus. Lisäksi on huomioitava esimerkiksi tulkintaa vääristävä kelluslehtisten mahdollisesti lisääntynyt osuus, joka voi muodostaa melko merkittävän osan kasvipeitteestä.

Kaikista puutteistaan huolimatta muodostetut laskentamenetelmät antavat melko luotettavan perustan, jonka avulla voidaan arvioida vedenkorkeuden säännöstelyn osuutta havaituissa pääkasvillisuustyyppien pinta-alan muutoksissa.

Pääkasvillisuustyyppien kehitykseen vaikuttavien tekijöiden erottelu

.....



Hellsten, S.

VTT Yhdyskuntatekniikka, vesi- ja ekotekniikka

Rantavyöhyketutkimus pystyi melko selvästi erittelemään Päijänteen rantavyöhykkeen kasvillisuuteen vaikuttavia tekijöitä, vaikka muuttujien päällekkäisyyden vuoksi johtopäätösten teko onkin vaikeaa ja osin jopa mahdotonta. Tuloksia voidaan kuitenkin tarkastella käyttäen osin tutkimuksen suoria tuloksia, osin arvioiden eri muuttujien vaikutuksia. Tarkastelu perustuu kuvassa 91 esitettyyn kaavioon, jossa kasvillisuuteen vaikuttavat tekijät on jaettu kuuteen eri tavoin rantavyöhykkeeseen vaikuttavaan pääryhmään. Päämuuttujina ovat vedenkorkeuden säännöstely, kuormitus, rantarakentaminen ja maankohoaminen, jotka olivat jo lähtöhypoteesin perusteella keskeisiä. Lisäksi arvioidaan myös piisamin ja karjan laiduntamisen merkitystä.

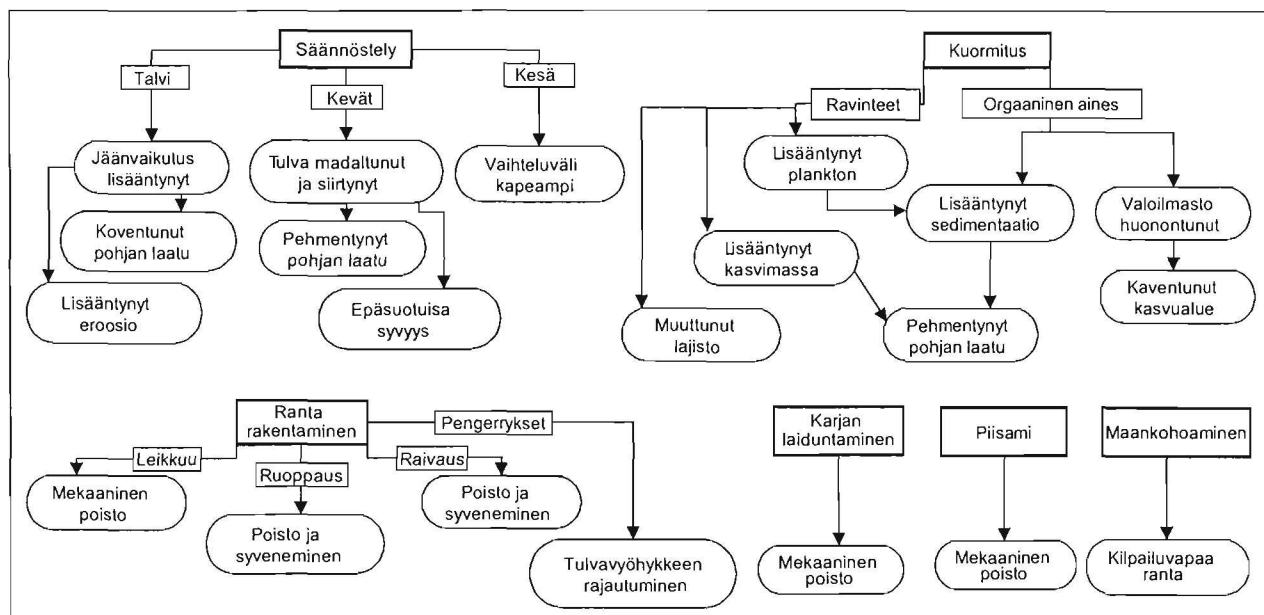
Päämuuttujista säännöstely on vaikuttanut talviseen vedenpinnan alenemiseen, joka aiheuttaa kasvia ja pohjaa rasittavaa erosioivaa jäätymistä ja toisaalta myös painuessaan vasten pohjaa kovettaa sitä (kappale 5.4.). Keväällä tulva on oleellisesti madaltunut ja siirtynyt, joka puolestaan johtaa sekä kuolleen kasvimateriaalin jäämiseen rantavyöhykkeelle että kasvin kannalta muuttuneeseen kasvusyvytyteen, jolla voi olla positiivinen tai negatiivinen vaikutus (kappale 6). Kesällä vaihteluväli on pienentynyt vaikuttaen vähentävästi ilmaversoisten kasvualueiden määrään (kappale 10).

Vesistön kuormituksen vaikutus on monimutkainen ja luonnollisesti eri lajiryhmillä hyvin erilainen. Ravinteiden määrän lisääntyminen johtaa lajiston muutokseen ja tarjoaa puitteet kasvimassan lisäkasvulle. Toisaalta lisääntynyt sedimentaatio muuttaa pohjanlaatua ja heikenneen valoilmaston kautta kaventaa myös kasvillisuuden esiintymisaluetta. Rehevöitymisen vaikutuksia on kuvattu parhaiten kappaleissa 7 ja 8.

Rantarakentamisen (kasvillisuuden leikkuu, rannan raivaus, ruoppaus ja pengerrys) vaikutuksia tarkasteltiin kappaleessa 7.3.2.1. melko kattavasti; vaikutukset ovat ilmaversoisiin selvästi kielteisiä, mutta kelluslehtiset todernäköisesti hyötyvät niistä. Piisamin (kappale 7.3.1) ja karjan (kappale 7.3.2.2) vähentynyt vaikutus lienee useimpiin kasvillisuusryhmiin positiivinen, kun taas maankohoamisen vaikutusta (kappale 6.4) on melko vaikea arvioida.

Kasvillisuuden pääluokkien (saraikko, ruovikko, kelluslehtiset ja isokokoiset pohjalehtiset) käyttäytymistä em. muuttujien suhteen on arvioitu potentiaalisen esiintymisalueen kapenemisena ennen säännöstelyä ja rehevöitymistä vallinneesta tilanteesta. Tilanteella tarkoitetaan 50-lukua, jolloin esimerkiksi rantojen käyttö oli paljolti maatalousvaltaista eikä rehevöityminen ollut vielä kiihtynyt huippuunsa.

Saraikon osalta on arvioitu ensin lopputulos, jonka on arvioitu olevan noin neljänneksen vähenemä alkuperäisestä (kuva 92). Vedenkorkeuden säännöstely vaikuttavaa negatiivisesti saraikon määrään kokonaisvähenemän ollessa aikaisemmin arvioitu 49 %; pääosa vaikutuksesta aiheutuu tulvan siirtymisen aiheuttamista epäedullisista kasvuoloista ja toisaalta kaventuneesta kesän vaihteluvälistä. Kuormituksen lisääntyminen sen sijaan on vaikuttanut positiivisesti suosimalle umpeenkasvulajistoa, jotka viihtyvät hyvin pehmeillä pohjilla. Rannan rakentamisen



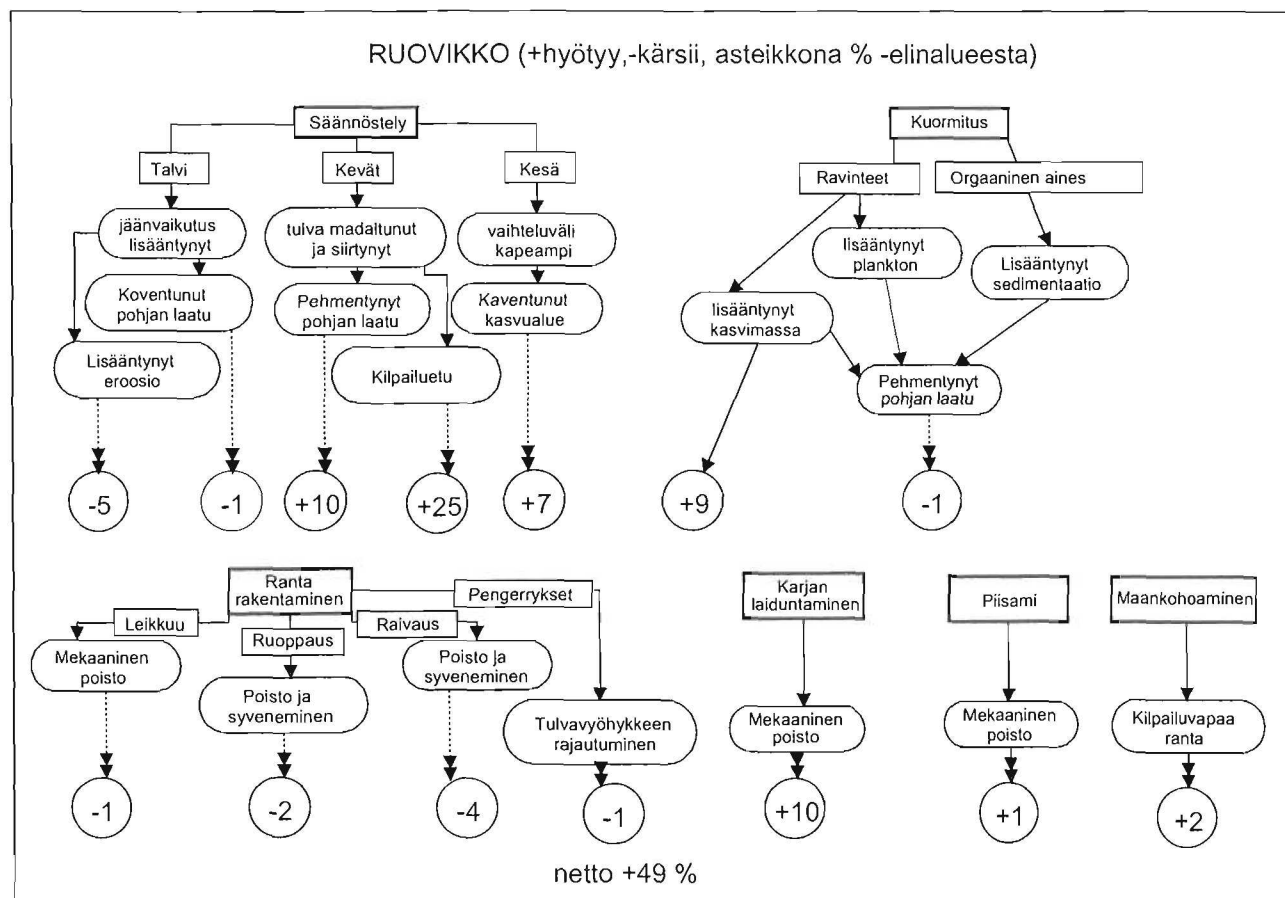
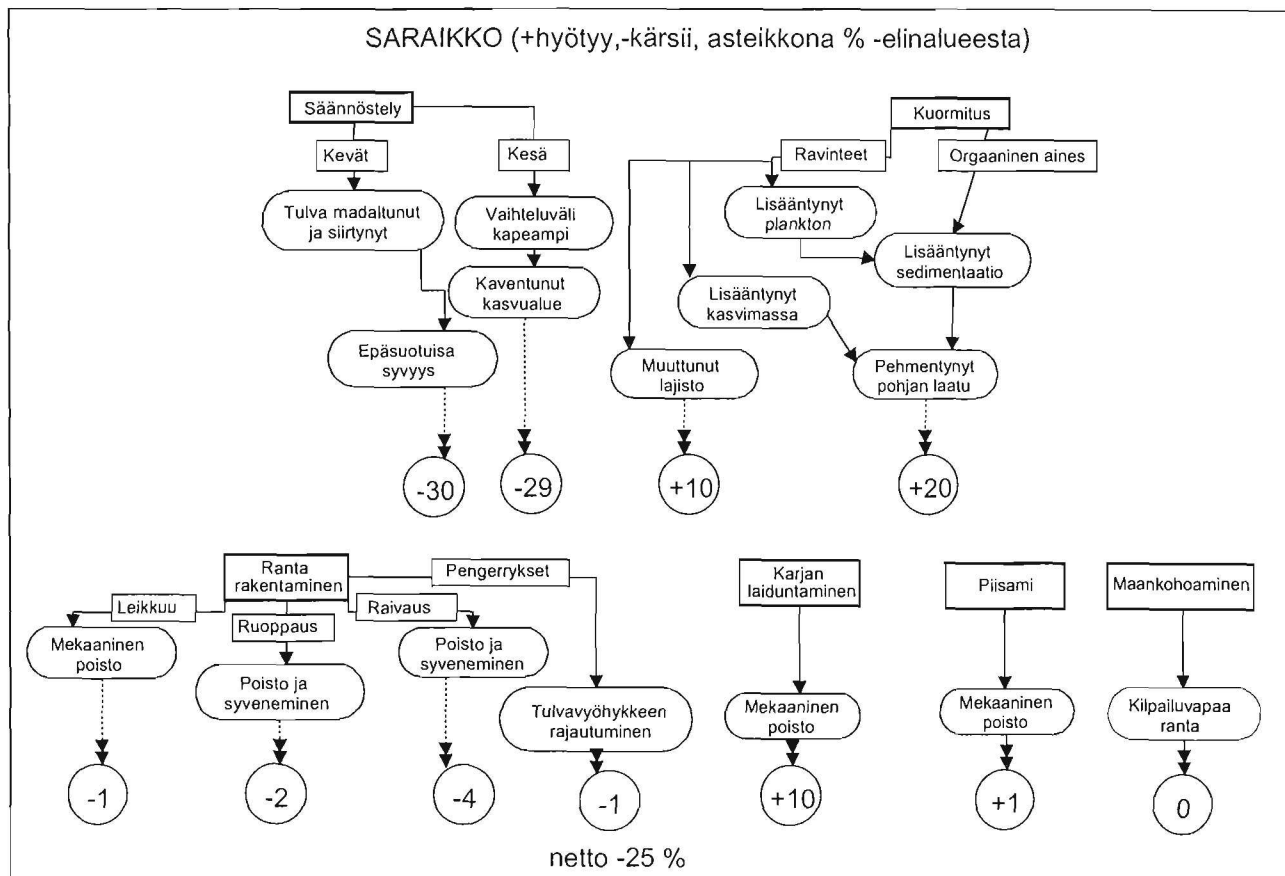
Kuva 91. Yksinkertaistettu yleiskaavio Pajianteen rantavyöhykkeen kasvipeitteeseen vaikuttavista tekijöistä.

kielteinen vaikutus on arvioitu suoraan muokattujen rantojen määrästä, mutta karjan laiduntamisen lopettamisen merkitys saattaa olla huomattavasti suurempikin. Piisamin merkitys on vähäinen, eikä saraikko pysty juurikaan hyödyntämään maankohoamisen myötä paljastuvaa rantaa hävitessään sen kilpailutilanteessa esim. pensaille. Kokonaisuudessaan saraikon määrä on siis vähentynyt 25 %.

Ruovikon suhteen tilanne on ainakin lopputuloksen suhteen melko kiistaton; ruovikon on ilmakuvatulkinnan perusteella katsottu lisääntyneen noin puolella (kuva 93). Lisääntymisestä voidaan arvioida johtuvan alentuneesta kevään vedenkorkeudesta aikaisemmin mainitut 29 % (kuva 90). Lisäksi ruovikko todennäköisesti hyötyy mineraalirannoille jääneestä orgaanisesta aineesta, mutta jääpeitteen lisääntynyt vaikutus on negatiivinen ruovikon kannalta. Rehevöitymisen vaikutus on karuilla rannoilla positiivinen, mutta toisaalta pohjanlaadun huononeminen johtaa osin myös ruovikoiden taantumiseen. Rantarakentamisen vaikutukset ovat saraikkojen tavoin suoraan negatiiviset ja ruovikko todennäköisesti hyötyy voimakkaasti laiduntamisen vähenemisestä ja myös hyvänä kilpailijana maankohoamisen seurauksena pohjoisosissa järveä vapautuvasta maasta. Kokonaisuudessaan ruovikoiden esiintymisalue on nykytilanteessa laajentunut laskennallisesti siis 49 %, mutta eri tekijöiden suhteelliset osuudet voivat olla hyvinkin väärä.

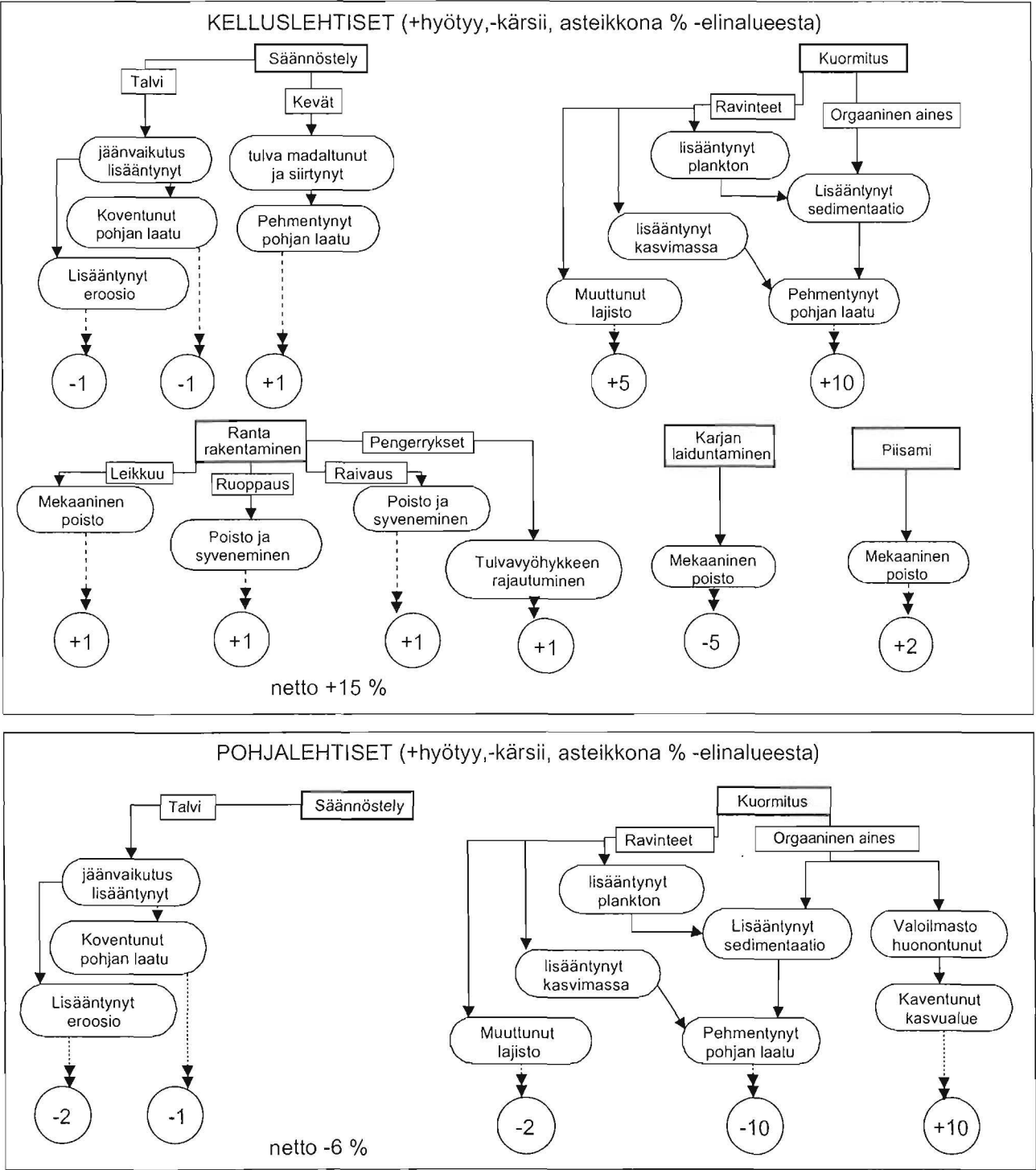
Kelluslehtisten ja isokokoisten pohjalehtisten tilanne on vielä vaikeammin arvioitaessa (kuva 93). Todennäköisesti kelluslehtisten määrä on kuitenkin jonkin verran lisääntynyt. Säännöstelyn vaikutus lienee hyvin vähäinen; useimmat kelluslehtiset kärsivät lisääntyneestä eroosiosta, mutta hyötyvät rantavyöhykkeelle kasaantuvasta pehmeästä aineksestä. Sen sijaan kuormituksen kasvulla on kelluslehtiseen kasvillisuuteen yksinomaan positiivinen vaikutus sekä pehmeiden pohjien lisääntymisen että lajiston muuttumisen myötä. Rantarakentamisen vaikutus voi olla myös positiivinen, koska esimerkiksi palpat ja ulpukat ilmaantuvat ruovikkojen aukkopaikkoihin. Karjan laiduntamisen vähenemisellä on todennäköisesti kielteinen vaikutus ruovikoiden vallatessa vanhoja kasvupaikkoja. Toisaalta piisamin väheneminen on lisännyt kelluslehtistä kasvillisuutta. Maankohoamisen vaikutusta on vaikea arvioida. Kokonaisuudessaan erittäin karkean arvion perusteella voidaan päätellä kelluslehtisen kasvillisuuden lisääntyneen noin 15 %.

Pohjalehtisten tilannetta tarkastellaan samansuuntaisen lähestymistavan kautta (kuva 93). Säännöstely vaikuttaa kielteisesti pääasiassa lisääntyneen jäänvaikutuksen kautta. Kuormituksen vaikutuksen nykyarviointi on erittäin vaikeaa;



Kuva 92. Pääjanteen saraikon (yläkuva) ja ruovikon (alakuva) potentiaalliseen kasvualueeseen vaikuttavat tekijät. Muutos 1950-luvulta nykypäivään.

pohjalehtiset ovat kärsineet eniten rehevöitymisestä, mutta havaintoaineisto osoittaa niiden palautuvan vanhoille kasvupaikoilleen valoilmaston paranemisen myötä. Osa kasvupaikoista on kuitenkin menetetty pysyvästi pohjan liettymisen kautta. Rantarakentamisella, laiduntamisella, piisamilla ja maankohoamisella ei liene merkittävää vaikutusta suurikokoisten pohjalehtisten kannalta muuten kuin välillisesti toisten lajien esiintymisalueissa tapahtuneiden muutosten kautta. Kokonaisvähennemäksi arvioitiin kuitenkin noin 5 %.



Kuva 93. Pääjängteen kelluslehtisen kasvillisuuden (esim. uistinviita, ulpukat) ja isokokoisten pohjalehtisten (esim. lahnaruohot) potentiaalisiin kasvualueisiin vaikuttavat tekijät

Rantavyöhykkeen kunnostusmahdollisuudet

12

*Keto, A.¹⁾, Hellsten, S.²⁾, Marttunen, M.³⁾, Riihimäki, J.²⁾,
Partanen, S.²⁾ ja Visuri, M.²⁾*

¹⁾Päijänne luontokeskus

²⁾VTT Yhdyskuntatekniikka, vesi- ja ekotekniikka

³⁾Suomen ympäristökeskus

12.1 Kunnostuksen kohteet

Rantavyöhykkeen kunnostustoimenpiteet ovat kohdistuneet pääsääntöisesti mataloituneiden ranta-alueiden syventämiseen ja rantakasvillisuuden poistoon. Päijänteellä on niitetty erityisesti järviruokoa, joka on vallannut elintilaa järvikortteelta loivilla hiekkapohjaisilla rannoilla. Paikallisten yrittäjien mukaan myös kellus- ja uposlehtisiä kasveja on poistettu käyttöraannoilta, mutta vaikutukset ovat olleet lyhytaikaisia ja kasvillisuus on palautunut jopa muutamassa kuukaudessa entiselleen. Eräillä alueilla on kasvillisuutta niitetty jo vuosikymmeniä, jolloin ilmaversoiset ovat hävinneet kokonaan ja niiden tilalle on tullut erityisesti vesiruttoa.

Rantojen kunnostuksen tarpeesta ja käytettävissä olevista resursseista riippuen myös varsinaisten elinympäristökunnostusten tekeminen on mahdollista. Tällöin pyritään muokkaamaan rantaa siten, että lisätään haluttujen eliöiden elämäntilalle välttämättömien alueiden määrää tai monipuolisuutta. Esimerkiksi puoluskeltajasorsille soveltuvia alueita voidaan kunnostaa umpeenkasvaneisiin lahdelmiin, jonne kaivettavien kanavien ja keinosarten mosaiikilla pystytään luomaan lintujen pesinnälle edullisia alueita. Loiville rannoille soveltuva malli vesilinnuille ja kevätkutuisille kaloille kunnostetusta rannasta löytyy esimerkiksi Oulujärven kunnostuksen yleissuunnitelmasta (Nivalainen ym. 1995).

Etelä-Päijänteen alueella toimii useita rantojen kunnostusta suorittavia yrittäjiä. Tämä teksti pohjautuu Jari Vuorelan, Kyösti Nikin, Heinolan vesistöhuollon ja Pertti Juutin haastatteluihin. Kunnostusten kustannuslaskelmat perustuvat kirjallisuudesta hankittuun tietoon (Mikkola-Roos 1995, Nybom 1988, Sierla 1994, Suomen ympäristökeskus 1998), paikallisten yrittäjien haastattelujen lisäksi paikallisten viranomaisien (Jari Hagman, Pekka Eerola) haastatteluihin ja asiantuntijahaastatteluihin (Ilkka Sammalkorpi, Jari Venetvaara, Jarmo Vääriskoski, Virpi Äystö).

12.2 Käytettyjä menetelmiä

12.2.1 Vesikasvien niitto

Vesikasvillisuuden niitto on Suomessa yleisin vesistöjen kunnostuskeino. Tämä johtuu siitä, että Suomen järvet ovat mataluutensa vuoksi luonnostaan alttiita umpeenkasvulle. Vesikasvillisuuden poisto on suoritettava vähintään kolmena vuotena peräkkäin, jos kasvillisuus halutaan hävittää. Tämän jakson jälkeen on

mahdollista, että niittoja ei tarvitse uusia jos koko alueen vesikasvillisuus on pystytty poistamaan. Jos kyseessä on väyläniitto on vesikasvillisuuden poisto monissa tapauksissa jokavuotinen operaatio.

Niittokokeilut ovat osoittaneet, että niiton vaikutukset ovat järviakohtaisia eikä niiden tuloksellisuudesta voida tehdä varmaa ennustetta ennen niittotyöhön ryhtymistä. Pitkällä tähtäyksellä niiton vaikutus on kuitenkin väliaikainen. Vesikasveille sopivat olosuhteet säilyvät ellei vesistön olosuhteita muuteta vedenpinnan nostolla, sedimentin poistolla tai valuma-aluetta kunnosteta hajakuormituksen pienentämiseksi.

Kasvillisuuden niittokustannukset ovat selvästi suurimpia ensimmäisellä niitokerralla, jolloin raivataan samalla aluetta vanhasta kasvillisuudesta. Ensimmäistä niittokertaa on mahdollista helpottaa jäänpäältä tehtävällä talviniitolla, jossa poistetaan edellisvuotinen kasvusto. Talvet voivat olla niin leutoja, että raskailla maatalouskoneilla meneminen jäälle ei onnistu ja tarvitaan kevyempiä työkoneita. Jos talviniitto suoritetaan, ovat kokonaiskustannukset pelkkää kesäniittoa alhaisempia, koska kuolleen edellisvuotisen kasvuston poistaminen talvella nopeuttaa kesäniittoa ja rantaan kuljetettavan kasviaineksen määrä pienenee huomattavasti.

Niiton ajankohta on myös tärkeä. Jos vesi on alkukesästä alhaalla, jolloin niitto olisi paras suorittaa ensimmäistä kertaa, ei koneella päästä kaikkein hankalimpiin rantaruovikoihin. Umpeenkasvun torjunnan kannalta paras tilanne olisi, jos vedenpinta olisi alkukesästä korkealla.

Rantakasvillisuudessa pesivälle linnustolle vesikasvillisuuden niitto ei ole välttämättä hyvä asia. Niitoissa on turvattava uhanalaisten kasvilajien ja vesilinnuston kannalta tärkeiden monimuotoisten ruovikoiden säilyttäminen. Kunnollisten niittosuunnitelmien tekeminen sekä linnustolle arvokkaiden kohteiden etukäteen merkitseminen maastoon estää parhaiten niittojen aiheuttamat vahingot vesilinnuille.

12.2.2 Pohjan ruoppaus

Ruoppausmenetelmien valitseminen on hyvin tapauskohtaista. Ruoppausta suunniteltaessa on otettava huomioon sedimentin laatu, sedimentin poistosyvyys, sedimentin poistoon liittyvät ympäristövaikutukset, sedimentin poistomenetelmät ja sedimentin läjitysalue. Rantavyöhykkeen kunnostuksiin liittyvät ruoppaustyöt ovat yleensä pienehköjä. Vesi- ja ympäristöhallinnon toteuttamissa töissä ruopattavat massamäärät ovat olleet tyypillisesti suuruusluokkaa 5000-20 000 m³ ktr. Yksikkökustannukset, jotka sisältävät ruoppauksen, siirron (0,5-1,0 km) ja läjityksen, vaihtelevat vesi- ja ympäristöhallinnon töissä 10-60 mk/m³ ktr. Tapauskohtaisesti esim. kaluston saatavuudella työkohteen läheltä voi olla olennainen merkitys työmenetelmän edullisuuteen.

Suurin osa Päijänteellä toteutuneista ruoppauksista on eräänlaisia raivauksia, joissa kiviä on siirretty pois käyttörannoilta. Suojaisissa lahdissa on käytetty melko yleisesti myös heittokauhaa, jolla on pystytty siirtämään tehokkaasti suuri määrä lietettä pois rantavyöhykkeeltä.

Kesä mökkirantoihin tehtävä ruoppaus on hyvin usein veneväylä, jonka tarkoituksena on päästä veneillä rantaan. Väylän leveys on tällöin n. 10 metriä. Rantautumisen välttämättömyys korostuu saarissa olevilla asukkailla, jolloin säännöstelyn aiheuttamat alentuneet alkukesän vedenkorkeudet voivat lisätä rannan ruoppauksen tarvetta. Samoin viime vuosikymmeninä kasvanut veneiden koko vaatii enemmän vettä rantautumiseen.

Ruopatulle alueelle on monissa tapauksissa laitettu suodatinkangasta, jonka päälle on levitetty noin 30 cm hiekkaa. Matto estää jopa järviruo'on versojen läpikunkeutumisen, mutta toisaalta laskee pohjasta kuplivat kaasut läpi. Matto voidaan

asentaa jään päälle, mutta se on arka esimerkiksi kivikon mekaaniselle kulutukselle. Maton liepeet tulee asettaa toistensa päälle tai matto tulee ommella yhteen paikallapysymisen varmistamiseksi.

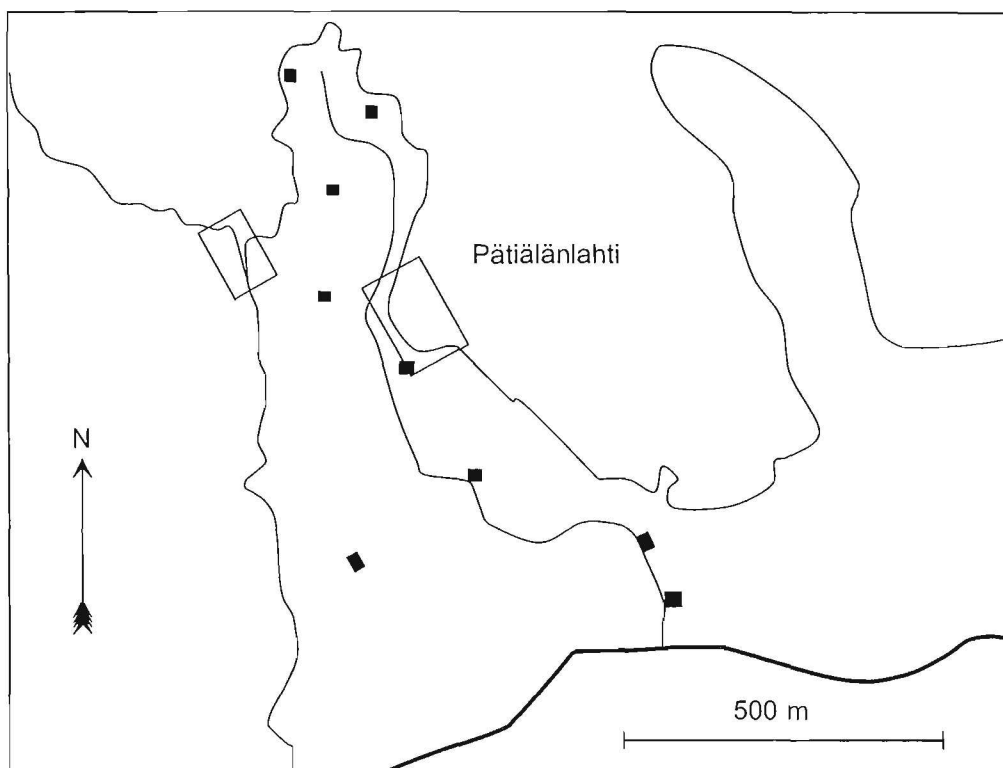
Rantaruoppauksissa läjitykset on aina tehty joko maalle tai vesijätölle, mutta eräissä imuruoppaustapauksissa läjitys on tehty myös vesialueelle. Ruoppausten elinkaaren pidentämiseksi on syytä kallistaa ruoppaus ulapalle päin, jotta rantavyöhykkeelle kulkeutuva aines ei täytä ruoppausalaa nopeasti. Ruoppausajankohta on usein syystalvella tai Päijänteen tapauksessa kevättalvella, jolloin vedenpinta on normaalia alempana ja rantapenger on kuivalla maalla.

12.2.3 Esimerkkejä kunnostustoimien onnistumisesta

Rantavyöhykkeen kunnostustoimien onnistumista on arvioitu yhdellätoista kohteella tehdyn maastokäynnin perusteella. Monivuotiset niitot ovat johtaneet ruovikon häviämiseen, mutta toisaalta niittojen loputtua on ruovikko saavuttanut parissa vuodessa yli 40 % niittämättömän vertailualueen tiheydestä. Lisäksi levittäytyvä ruovikko on usein nuorta ja elinvoimaista, joten palautuminen on nopeaa etenkin kapeilla väylämäisillä leikkuualoilla. Niitetyillä alueilla kasvaa usein vesitatar, palpakot, ulpukka ja ahvenvita, jotka eivät yleensä haittaa merkittävästi rannan käyttöä, mutta eivät toisaalta ole hävitettävissäkään.

Talviniiton ja siihen yhdistetyn kesäniiton vaikutusta ei voitu maastossa tarkkaan todeta, koska ko. alueella niittämätön osuus sijaitsi ruovikon reunassa, jossa ruovikko on muutenkin elinvoimaista ja korkeampaa. Kuolleen ruokomassan polttaminen poistaisi osan hajoavaa biomassaa kierrosta, rannan eroosio kasvaisi ja lisäksi maavarsiston ja ilmakehän välinen kaasujenvaihto heikkenisi (Armstrong ym. 1990). Toisaalta ainakin rehevillä paikoilla sillä voi olla myös kasvua kiihdyttävä vaikutus, koska uusilla versoilla olisi enemmän elintilaa.

Ruoppausten ja rantakasvillisuuden niiton rajoittaminen pienissä suojaisissa lahdissa vain osalle aluetta tai esimerkiksi useammalle mökille yhteisen virkistyskäyttöuoman kunnostaminen jättää elintilaa myös muille rannan eliöille. Rannan käyttäjille yhteisestä kunnostuksesta olkoon esimerkkinä Pätälän rannan kunnostus (kuva 94), jossa rannan loma-asunnon ja paikallisen maatilan yhteiskäyttöön on ruopattu veneenpitopaikka ja väylä kasvillisuuden läpi avoveteen (kuva 95). Kyseisen kohteen tilannetta hauen lisääntymishabitaattien säästämisen kannalta olisi rakennusvaiheessa voitu parantaa jättämällä rantaan kapea saravyöhyke mahdollisimman paljon koskemattomaksi ja läjittämällä ruoppausmassat hieman kauemmaksi rantaviivan yläpuolelle (kuva 96, Vaihtoehto 1) tai ruoppaamalla vene-rannan ja mökkirannan välille yhdistävä kanava, jonka keskivaiheilta ruopataan aukko avoveteen (kuva 96, Vaihtoehto 2). Tosin monessa tapauksessa tontin omistaja haluaa hyvin selvän rantaviivan ja käyttää ruoppausmassat oman tonttinsa korottamiseen. Lisäksi ulapalle avautuvaa maisemaa arvostetaan suuresti. Vaihtoehto II:ssä on myös vedenvaihtuvuus jonkin verran heikompi, mikä voi huonontaa vedenlaatua.



Kuva 94. Pätiälän alueen rantakunnostuskohteiden sijainti

12.3 Päijänteen rantojen kunnostuskustannukset

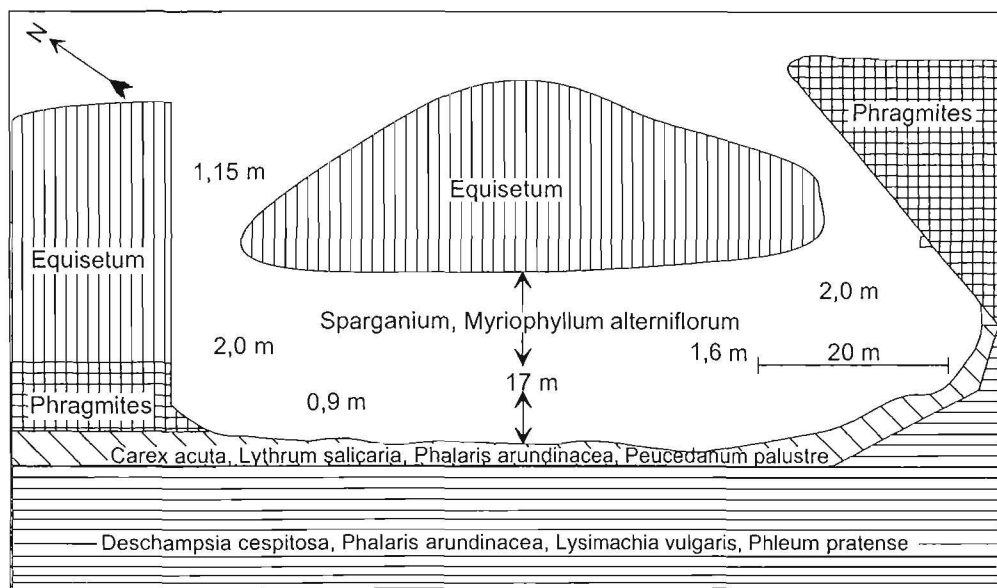
12.3.1 Laskentaperusteet

Päijänteellä vesikasvien niitto- ja ruoppauskustannukset voidaan laskea kahdella tavalla, joko arvioimalla virkistyskäyttöhaitan poiston kustannuksia tai sitten koko rantaluonnon luonnontilan palauttamisen kustannuksia (liite 9).

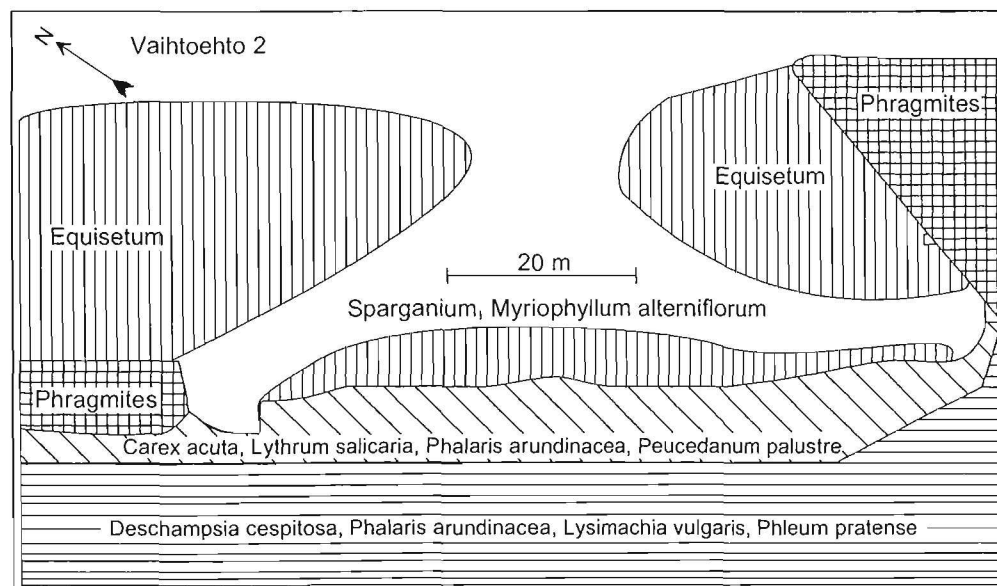
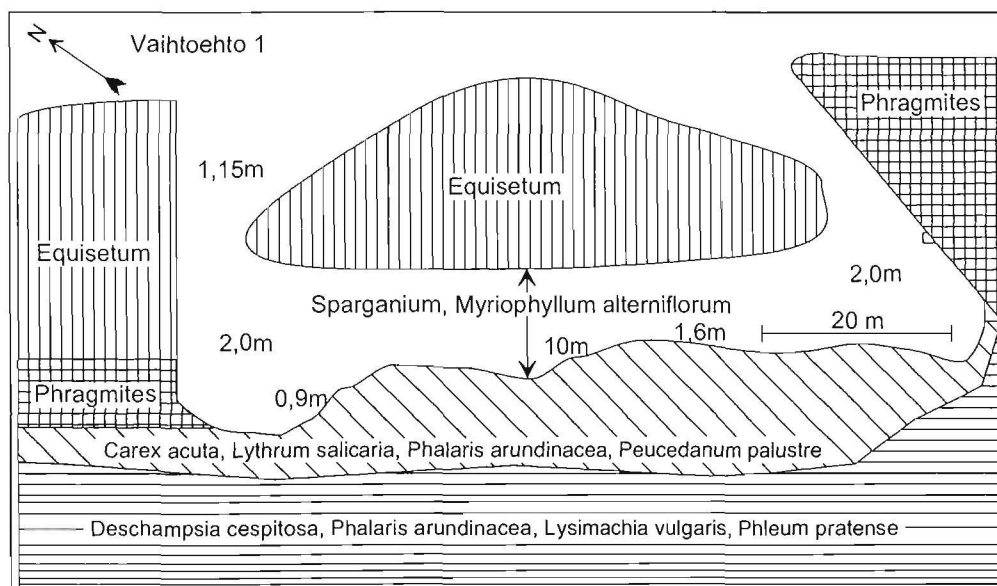
Virkistyskäyttöhaitassa ruovikon poistosta on laskettu syntyvän kustannuksia joka vuosi, koska väyläniittojen yhteydessä kasvillisuus leviää reuna-alueilta uudestaan niitetylle alueelle hyvin nopeasti. Virkistyskäyttöhaitan umpeenkasvussa on myös kyse väyläruoppauksista, missä ruopattu väylä sortuu paikasta riippuen vaihtelevalla nopeudella ja uusi väyläruoppaus on tarpeellinen. Keskimääräiseksi ruoppauksen uusintatarpeeksi on arvioitu 10 vuotta.

Teoreettisessa tarkastelussa luonnontilan palauttamisesta on ruovikko tarkoitus poistaa kokonaisuudessaan määrätyiltä alueilta intensiivisellä kolmen vuoden peräkkäisellä niitolla, jolloin ruovikko pysyy kurissa 5-7 vuotta ellei muutosta tapahdu vedenkorkeuksissa tai hajakuormituksessa. Tämän jälkeen niittosarja on uusittava. Vastaavasti biotooppikunnostuskohteissa uusintatarve ilmenee noin kahdenkymmenen vuoden välein, koska mataloituneetkin väylät ylläpitävät monimuotoisia eliöyhteisöjä.

Ranta-asukkailta on tullut palautetta kesäaikana tapahtuvasta vedenkorkeuden vaihtelusta, mikä pakottaisi heitä pidentämään tai siirtämään laitureita. Vedenkorkeuden vaihteluväli ei ole säännösteltynä kasvanut luonnonmukaisesta, mikä takia kyseistä seikkaa ei ole laskettu säännöstelyn aiheuttamaksi virkistyskäyttöhaitaksi. Kysymys on pikemminkin vuosien välisistä hydrologisista eroista.



Kuva 95. Kaavamainen piirros Pätäälänlahden ruoppauksesta (kuvan 64 alue a).



Kuva 96. Vaihtoehtoisia saraikkovyöhykettä säästäviä käsittelytapoja. (Vaihtoehto 1 Vaihtoehto 2)

12.3.2 Virkistyskäyttöhaitan poisto

Virkistyskäyttöhaitan laskemisessa käytettiin Päijänteen, Konnivesi-Ruotsalaisen ja Kymijoen säännöstelyn vaikutuksista vakituksille loma-asukkaille tehdyn kyselytutkimuksen tuloksia (Korhonen ym. 1999). Tutkimuksessa (n=2167) kysyttiin kuinka suuri osa ranta-asukkaista oli muokannut käyttörantaansa joko niittämällä tai ruoppaamalla. Säännöstelyn osuus vesikasvillisuuden lisääntymisestä (60 %) saatiin rantavyöhyketutkimuksen tuloksista. Tämän perusteella veden laadussa tapahtuneet muutokset eivät korreloineet vesikasvillisuuden lisääntymisen kanssa, vaan merkitsevät tekijät olivat vedenkorkeus, avoimuus, suojaisuus ja kahden edellisen kautta myös pohjan laatu. Kasvillisuusvyöhykkeen keskimääräinen leveys rantaviivasta arvioitiin ilmakuvien perusteella 41 metriksi. Väyläruoppauksia tehtäessä on ruoppausleveys usein 10 metriä. Jos tarkoituksena on käyttää rantaa myös väyläruoppauksen ulkopuolella voidaan käyttörannan leveydeksi arvioida tällöin 20 metriä. Näiden perusteella keskimääräiseksi käyttörannan leveydeksi arvioitiin 15 metriä. Kun rantavyöhykkeen kunnostuskustannukset jaettiin umpeenkasvun osalta 10 vuodelle, saatiin vuosittaiseksi virkistyskäyttöhaitaksi 180 000 - 400 000 mk (liite 9).

12.3.3 Rantaluonnon luonnontilan palauttaminen

Rantaluonnossa tapahtunut kokonaismuutos on enemmän teoreettinen tarkastelu, jossa arvioitiin mikä olisi säännöstelyn osuus rantaluonnon palauttamisesta sille tasolle, missä se oli ennen säännöstelyä ja ihmisen aiheuttamaa kuormitusta. Se antaa kuitenkin kokonaiskuvan koko Päijänteen rantaviivan tilasta verrattuna virkistyskäyttöhaitaan, missä tarkastelun kohteena ovat ainoastaan kasvillisuuden niittoa tai ruoppausta Päijänteen rannoilla tehneet kiinteistöt. Sen osittaista käyttöä tarkastelussa mukana tukee se, että rantakiinteistöjen lisäksi Päijänteen rannoille kohdistuu suuri virkistyskäyttöpaine veneilijöiden ja retkeilijöiden toimesta. Tästä hyvänä esimerkkinä on Etelä-Päijänteen kansallispuistoalue. Jos Päijänteellä pyritäisiin rantavyöhykkeellä luonnontilan palauttamiseen olisivat kustannukset vuosittain säännöstelyn osalta 590 000 -1 420 000 mk vuodessa (liite 9).

12.4 Kunnostustoimenpiteiden vaikutukset vesi- ja rantaluontoon

12.4.1 Vesikasvien niitto

Hyvin usein niitetyn ilmaversoiskasvillisuuden tilalle tulee kelluslehtisiä vesikasveja, jotka kestävät paremmin niiton aiheuttamaa räsytystä. Ne ovat ennen niittoakin usein esiintyneet ilmaversoiskasvillisuuden seassa, mutta uudessa tilanteessa niiden kasvuo-olosuhteet, mm. valaistuksen suhteen paranevat. Niittojen jatkuessa ovat kelluslehtisetkin yleensä korvautuneet uposkasveilla kuten ahvenvidalla (*Potamogeton perfoliatus*), joka Päijänteen tapauksessa varmasti yleistyy. Myös vesisammaleet ovat muutamissa tapauksissa vallanneet ilmaversoisten entisen kasvualan, mutta uposkasvien määrä on harvoin kasvanut niiton jälkeen.

Päijänteellä niitettäessä suojaisissa lahdissa tulee kelluslehtisten määrä ensin lisääntymään. Sen sijaan niitettäessä avoimien rantojen ilmaversoiskasvillisuutta, lähinnä ruovikkoa, kelluslehtiset vesikasvit eivät pääse lisääntymään, koska ne eivät kestä avoimiin rantoihin kohdistunutta aaltojen mekaanista räsytystä samoin kuin järviruoko. Näillä alueilla kasvillisuuden nopeampi vähentäminen ja poistaminen on mahdollista. Oikein suunnitelluilla niitoilla voidaan pienentää niiton haitallisia

vaikutuksia vesilinnuille ja jopa edistää niiden pesimäolosuhteita. Huonokuntoisten ruovikoiden poistaminen voi parantaa myös kalojen varsinkin hauen lisääntymisolosuhteita, koska kasvillisuuden suhteen monimuotoinen ruovikko on kalojen kannalta otollinen. Hyvä haukikanta taas kykenee pitämään kurissa lahtialueilla vähempiarvoisten särkikalojen populaatioita.

12.4.2 Pohjan ruoppaus

Kun ruoppauskustannuksia harkitaan hankkeen toteutettavuuteen liittyen, tulee huomiota kiinnittää myös ruoppaustyön tulosten pysyvyyteen. Ruoppauksen kannattavuus on heikko, jos sedimentaatio on ruoppauksen jälkeen korkea. Toisaalta ruoppaamalla voidaan poistaa vesikasvit juurineen ja niiden poistaminen onnistuu kerralla. Työstä johtuva suurin haitta on veteen joutuva kiintoaineen aiheuttama veden samentuminen. Kiintoainepitoisuus palautuu normaaliksi muutamassa viikossa. Hitaammin palautuvia ovat ruoppausten aiheuttamat biologisten tekijöiden muutokset. Pohjaeläimistön toipuminen vie yleensä 1-2 vuotta. Jos pohjan olosuhteet ovat olleet huonot ennen ruoppausta, kuten on useissa umpeenkasvuun liittyvissä tapauksissa, tulee pohjan laatu pitkällä aikavälillä parantumaan alkuperäisestä tilasta. Jos taas kyseessä on pelkkä matalasta veden pinnan tasosta johtuva väylän syventäminen, on mm. pohjaeläimiin kohdistuva haitta suurempi.

Rannankäyttäjien yhteistyö kunnostusten suunnittelu- ja toteutusvaiheessa on paitsi taloudellisesti kannattavaa myös elinympäristöjen kannalta edullista mikäli niitettävien tai ruopattavien väylien yhteiskäyttö pienentää tehtävien muutosten pinta-alaa.

Rantavyöhykkeen kasvillisuuden kehitykseen vaikuttavia tekijöitä tutkittiin perusteellisesti monivuotisen tutkimuksen aikana. Selvimät riippuvuussuhteet havaittiin runsasravinteisuuden indikaattoreiden runsauden ja veden laadun välillä. Rannan umpeenkasvuindeksi korreloi enemmän rannan loivuuden ja suojaisuuden kuin veden ravinteisuuden kanssa. Tämä osaltaan ilmentää umpeenkasvun osittaista riippumattomuutta veden ravinteisuudesta. Monet muuttujat olivat hyvin vaikeasti tulkittavia, koska esimerkiksi maankohoamisnopeus kasvaa samansuuntaisesti siirryttäessä Päijänteen eteläosista kohti pohjoista.

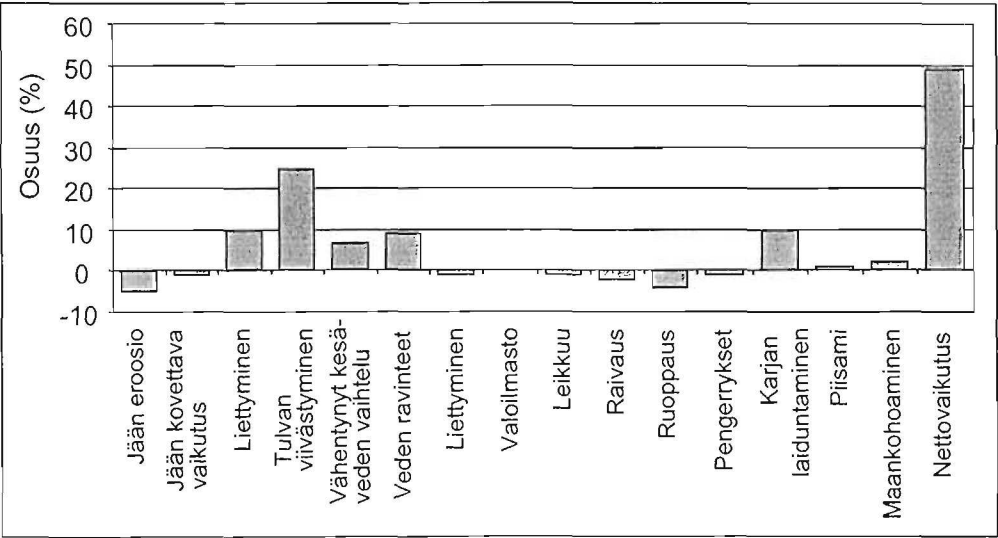
Yksittäisten umpeenkasvua indikoivien lajien riippuvuussuhde ympäristömuuttujiin on hyvin vähäinen. Järviruo' on keskimääräinen peittävyys, tiheys ja korkeus eivät korreloineet minkään ympäristömuuttujien kanssa. Järvikorte taas suosii selvästi alueita, joilla valuma-alueen kuormitus on suuri. Erityisen merkittävää on ruovikon yleinen riippumattomuus esimerkiksi ravinnekuormituksesta, joka yleensä vaikuttaa voimakkaasti rannan kasvillisuuteen. Ruovikon kehitystä tutkittiin hankkeen yhteydessä myös kolmella Etelä-Päijänteen osa-alueella, mutta niilläkään ei löydetty vedenkorkeuden lisäksi mitään erityistä kasvua säätelevää tekijää. Pohjan laadun huononeminen ja muuttuminen vähähappiseksi rajoitti kuitenkin ruovikon leviämistä.

Ruovikoitumisongelmaa jouduttiinkin Päijänteen säännöstelytutkimuksessa lähestymään ottamalla mukaan suurehko joukko vertailujärviä. Säännöstelemättömällä Päijännellä muistuttavalla Keski-Keiteleellä umpeenkasvu ja ruovikoituminen oli huomattavasti pienempää, mutta toisaalta sen lähimenneisyyteen ei kuulu voimakasta kuormituksen kautta. Äänekosken alapuolisella reitillä tehtiin havainnot järvissä, joissa tulva oli voimakas, mutta myös kuormitus oli ollut erittäin voimakasta. Näissä järvissä umpeenkasvu oli voimakasta, mutta ruovikko puuttui käytännössä kokonaan. Päijänteelle on vesistön keskusaltaana tyypillistä tulvan myöhäinen, usein myös kasvukaudelle osuva nousu. Ruoko hyötyy kevättulvan viivästymisestä, kun taas korte sietää hyvin kevättulvaa, mutta ei siedä tulvaa kasvukauden aikana. Vedenkorkeuden säännöstely on edelleen myöhästyttänyt tulvaa antaen erittäin merkittävän kilpailuedun ruo'olle. Ruovikoiden lisääntyminen näyttääkin siis eniten johtuvan vedenkorkeuden säännöstelystä, vaikka myös rehevöitymisellä on oma osuutensa (kuva 97).

Päijänteen rantavyöhykkeen tulevaisuutta arvioitiin ilmakuvaukseen perustuvan elinympäristökartoituksen avulla. Umppeenkasvulle alttiita suojaisia rantatyyppejä löytyi eniten Pohjois-Päijänteellä. Etelä-Päijänteellä noin puolet rannoista oli pääsääntöisesti varsinaisen umpeenkasvun ulkopuolella. Etelä-Päijänteellä ruovikoiden pinta-ala onkin selvästi pienempi kuin muilla osa-alueilla, vaikka ruovikkoa tavataan erityisesti melko avoimilla hiekkarannoilla. Ruoko kestää mekaanista aallokon aiheuttamaa räsitusta erittäin hyvin ja viihtyy verrattain kovilla hapekkailla hiekkapohjilla, joita esiintyy erityisesti Etelä-Päijänteellä. Ruovikko toimii myös voimakkaana itseään ruokkivana systeeminä, joka oleellisesti lisää rannan suojaisuutta ja luo edellytykset myös muun rehevöittävän lajiston saapumiselle rantavyöhykkeelle. Toisaalta ruovikko toimii myös puskurina veden ja maan välissä suodattaen valuma-alueelta tulevia ravinteita, joten erityisesti ojien ja purojen suualueilla ruovikon poistamista tulee välttää. Ruovikon mekaaninen

poistaminen on suositeltavaa ainakin käyttörannoilla, vaikka ilman rannan ruoppausta tai ruovikon täydellistä poistamista kasvusto palaa muutamassa vuodessa takaisin käsitellylle rannalle.

Alkukesän alhaiset vedenkorkeudet antavat siis selvästi lisävauhtia ruovikon leviämislle. Muutaman peräkkäisen vähävetisen vuoden aikana ruovikko pystyy laajentamaan esiintymisaluettaan merkittävästi ulapalle päin. Päijänteen säännöstelyä tulisikin kehittää siten, että erityisesti alkukesän vedenkorkeuksia pyritäisiin nostamaan.



Kuva 97. Ruovikoiden määrän vaikuttavat tekijät Päijänteellä. Prosenttiluku kuvaa “luonnontilaisen” ruovikon määrää lisäävää/vähentävää osuutta. Määrät perustuvat osin mittauksiin, osin asiantuntija-arvio (kts. kuva 92).

Päijänteen säännöstelyn kehittämisselvityksen rantavyöhyketutkimus lienee eräs suurimmista Suomessa toteutetuista tutkimuksista alallaan. Alkuperäinen tutkimussuunnitelma laajeneri vuosi vuodelta yhä uusien ongelmien ja aihekokonaisuuksien tullessa mukaan – lopputulokseen kirjoittajina vaikuttaneiden eri osien vastuuhenkilöt on pääsääntöisesti esitelty eri kappaleitten yhteydessä, mutta joukko keskeisesti taustavaikuttaneita henkilöitä on syytä mainita erikseen. Tutkimusta koordinoi Päijänteen talous- ja luontoryhmä, johon kuuluivat seuraavat henkilöt:

Päijänteen talous- ja luontoryhmä:

Puheenjohtajat:

DI Erkki A. Järvinen, Suomen ympäristökeskus (SYKE)
Tutkimusinsinööri Mika Marttunen, SYKE

Jäsenet:

Toiminnanjohtaja Raimo Ahlberg, Päijät-Hämeen kalatalouskeskus
Tulosryhmävastaava Tapani Eskola, Kaakkois-Suomen ympäristökeskus
Erikoistutkija Seppo Hellsten VTT/YKI
Ylirakennusmestari Tapio Hynynen, Sysmän kalastusalue
DI Sirpa Joukainen, SYKE
Uittopäällikkö Timo Järvelä, Järvi-Suomen uittoyhdistys
Tutkija Antton Keto, Päijänne-luontokeskus
Limnologi Juha Keto, Lahden kaupunki, Valvonta- ja ympäristökeskus
Tutkija Pekka Korhonen, YVA Oy
Maanviljelijä Veikko Laaka, Pohjois-Päijänteen kalastusalue
Ympäristönsuojelusihteeri Jari Laine, Asikkalan kunta
Isännöitsijä Markku Laitinen, Kuhmoisten kalastusalue
Tutkija Esa Lammi, Biologitoimisto Jari Venetvaara ky
Piirikalastusmestari Vesa Lehtimäki, Hämeen TE-keskus, kalatalousyksikkö
Ympäristötarkastaja Jarmo Liukkonen, Luhangan kunta
Juhani Lusila, Etelä-Päijänteen kalastusalue
Agronomi Eila Metsäpelto, Kymen TE-keskus
Vanhempi insinööri Jouni Mikkonen, Kaakkois-Suomen ympäristökeskus
Kalatalousjohtaja Jukka Muhonen, Hämeen TE-keskus
Tutkija Harri Mäkelä, Hämeen ympäristökeskus
Edunvalvontapäällikkö Pentti Nikula, Päijät-Hämeen liitto
Tutkija Risto Palomäki, Keski-Suomen ympäristökeskus
Yli-insinööri Erkki Pyppönen, Keski-Suomen liitto
Toiminnanjohtaja Juhani Ristola, Maataloustuottajain Kymenlaakson liitto
DI Pia Rotko, SYKE
Ympäristöasiamies Martti Salminen, Keski-Suomen liitto
Johtaja Sari Saukkonen, Päijänne-luontokeskus
Tutkija Matti Saura, Hämeen ympäristökeskus
Tutkija Tuomo Sinisalmi, Fortum Power and Heat Oy
Kalatalousjohtaja Matti Sipponen, Keski-Suomen maaseutuelinkeinopiiri
DI Timo Sokka, Keski-Suomen ympäristökeskus
Vesivoimapäällikkö Ilkka Vaarne, UPM-Kymmene Oy
Tutkija Pentti Valkeajärvi, RKTL/Laukaan kalantutkimus ja vesiviljely
Toimitusjohtaja Jari Venetvaara, Biologitoimisto Jari Venetvaara ky
Tutkija Kirsi Viikilä, Päijänne-luontokeskus

Rantavyöhyketutkimuksen pääasiallisina rahoittajina ovat toimineet Maa- ja metsätalousministeriö, Päijänteen säännöstelytoimikunta, Päijät-Hämeen, Keski-Suomen ja Kymenlaakson liitot sekä Päijänteen kalastusalueet ja Kaakkois-Suomen ympäristökeskus.

Johtaja Sari Saukkonen Päijänne luontokeskuksesta tarjosi runsaasti apua, positiivista ilmapiiriä, toimitiloja, vanhoja valokuvia ja erinomaisia sämpylöitä kymmenissä kokouksissa vuosien aikana. FT Juha Suominen antoi julkaisemattomat aineistonsa tutkimuksen käyttöön. Tutkimuspäällikkö Kari Lehtinen (Keski-Suomen ympäristökeskus) osoitti myönteisyyttä tutkimuksen erilaisia tarpeita kohtaan järjestämällä autoja, majoitustiloja, veden laatuaineistoja ja virkatyötä. Tutkija Pentti Valkeajärvi (RKTL) tarjosi kaikinpuolista tukea. Työministeriö kustansi siviilipalvelusmiehen elämää yhden vuoden ajan; ajasta suuri osa kului Päijänteen hankalien paikkatietojärjestelmien kanssa. R/V Hessutar toimi maastoryhmän toisena kotina kolmena kesänä. Yhteistyö Pekka "Hauki" Korhosen kanssa on ollut vuorovaikutteista ja hauskaa. Tutkija Kaisa Kerätär (VTT) oikoluki käsikirjoituksia useaan otteeseen. Tutkija Tero Väisänen (VTT) antoi sedimenttiosaamisensa tutkimuksen käyttöön.

Kyösti Nikki kierrätti omalla veneellään tutkijoita Etelä-Päijänteen kunnostuskohteelta toiselle. Maanviljelijä Yrjö Skyttä tarjosi entisen navettansa tutkijoiden käyttöön ruovikkotutkimuksen intensiivijaksona. Kirsi Viikilän maatilan vanha pääarakennus toimi pohjaeläinpoiminnan näyttämönä ja majoitustilana erään syyskuisen viikon. Professori Pertti Eloranta (Helsingin yliopisto, Limnologian laitos) osallistui ruovikkotutkimuksen suunnitteluun hyvillä neuvoillaan. Professori Timo Kairesalo (Helsingin yliopisto, Ympäristöekologian laitos) ideoi asioita tutkimusryhmän kanssa. Erikoistutkija Markku Virtanen (Suomen Ympäristövaikutusten arviointikeskus Oy) osoitti monipuolista joustavuutta työnantajan ominaisuudessa. VTT Yhdyskuntateknikka paikkasi vuotavaa budjettia silloin tällöin. Virkistyskäyttötutkimus Tuomo Sinisalmen (Fortum) johdolla tarjosi runsaasti yhteistyötä. Arosten esikoinen lykkäsi syntymällään maastotutkimuksia yhdellä sateisella viikolla, eikä kahden ensimmäisen maastokesän aikana satanut juuri lainkaan. Tuntematon henkilö kadotti kolmattasataa onneksi jo kertaalleen tulkittua ilmapalokuvaa, eikä niitä ole vieläkään löytynyt. Pätkiviä differentiaali-GPS signaaleja tarjosi puolestaan Radio Suomi tutkimuksen ensimmäisenä maastokesänä. Dr. Watson (Microsoft) kommentoi tutkimusta useassa eri vaiheessa.

Professori Heikki Toivonen (Suomen ympäristökeskus) ja dosentti Erkki Alasaarela (Oulun yliopisto) lukivat epävalmiin käsikirjoituksen ja varustivat sen hyvillä kommentteilla.

Eri kappaleiden yhteydessä jo kertaalleen mainituista henkilöistä tulee vielä nostaa esiin koko projektin vetäjän tutkimusinsinööri Mika Marttusen, joka jaksoi uudestaan ja uudestaan piiskata rantajoukot uusien ongelmien kimppuun. Antton Keto kasvoi tutkimuksen aikana veneen kipparista ja tutkimusapulaisesta gradunteon kautta kunnan rantatutkijaksi sekä sai vielä lopussa vereksenä miehenä paimentaa raportin taittamista oikolukuineen.

Rantavyöhyketutkimus on ollut monipuolinen, haastava ja sairaan kova homma, jossa välillä on ollut pimeitä ja miltei toivottomia hetkiä. Päijännehakemistosta löytyvät miltei 4000 tiedostoa (yli 400 MB) tekivät jo pelkän aineiston hahmottamisen vaikeaksi. Uskon kuitenkin, että tutkimuksessa on päästy tavoitteeseen, joka asetettiin miltei puolikymmentä vuotta sitten. Päijänteen rantojen tilaan vaikuttavat tekijät on ainakin välttävästi selvitetty. Rantavyöhyketutkimuksen vastuuhenkilönä haluan kiittää kaikkia tutkimuksen toteutukseen vaikuttaneita tahoja.

Kirjoittajakunnan puolesta vuosituhanen viimeisenä aamun valjetessa,

Seppo Hellsten

Kirjallisuus

- Alasaarela, E., Hellsten, S., Keränen, R., Kurttila, T. & Riihimäki, J. 1993: Säännöstelyjärvien rantojen kunnostuksen ja hoidon periaatteet - esimerkkinä Oulujoen vesistö. Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisuja, sarja A 145.
- Allam, A. I. & Hollis, J. P. 1972: Sulfide inhibition of oxidases in rice roots. *Phytopathology* 62: 634-639.
- Armstrong, J. & Armstrong, W. 1990a: Light enhanced convective throughflow increases oxygenation in rhizomes and rhizosphere of *Phragmites australis* (Cav.) Trin. *New Phytol.* 114: 121-128.
- Armstrong, J., Armstrong W. & Van der Putten W. H. 1996a: *Phragmites* die-back: bud and root death, blockages within the aeration and vascular systems and the possible role of phytotoxins. *New Phytol.* 133: 399-414.
- Armstrong, J., Armstrong, W., Zenbin Wu & Afreen-Zobayed, F. 1996b: A role for phytotoxins in the *Phragmites* die-back syndrome ? *Folia Geobot. Phytotax.* 31: 127-142.
- Barko, J. W. & Smart, R. M. 1981: Comparative influences of light and temperature on the growth and metabolism of selected submersed freshwater macrophytes. *Ecol. Monogr.* 51: 219-235.
- Brix, H. & Schierup, H-H. 1985: Light dependent variations in CO₂, O₂ and N₂ concentrations in the lucunal air of *Phragmites australis*. *Proc. 13th Nordic Symposium on Sediments*: 35-38.
- Brix, H. 1989: Gas exchange through dead culms of reed, *Phragmites australis* (Cav.) Trin. *Ex. Steudel. Aquatic Botany* 35: 81-98.
- Brix, H., Sorrell, B. K. & Schierup, H-H. 1996: Gas fluxes achieved by in situ convective flow in *Phragmites australis*. *Aquatic Botany* 54: 151-163.
- Carpenter, S. R. & Lodge, D. M. 1986: Effects of submerged macrophytes on ecosystem processes. *Aquatic Botany* 26: 341-370.
- Coops, H. 1996: Helophyte zonation: impact of water depth and wave exposure. 150 s.
- Eloranta, P. 1966: Vesikasvihavaintoja Keiteleeltä kesällä 1964. *Luonnon tutkija* 70: 62-63.
- Granberg, K. 1997: Jämsänkosken sulfiittisellutehtaan tuotannon ja kuormituksen kasvu vuosina 1914-1965 ja vaikutukset veden laatuun. Keski-Suomen ympäristökeskus. Moniste. 26 s.
- Granberg, K. 1998: Päijänteen veden laadun kehitys. Teoksessa: Saukkonen, S. & Hakkari, L. (toim.) *Päijänne - suomalainen suurjärvi*. ISBN 951-97789-2-6. s.100-107.
- Hakila, R. & Kalinainen, P. 1992: Poosjärven luonto, linnusto ja kasvillisuus vuonna 1992. Noormarkun kunta. Moniste. 11 s.
- Hakkari, L., Ellonen, T. & Selin, P. 1978a: Säännöstelyn vaikutuksista Päijänteen arvokalakantoihin ja pohjaeläimistöön. Jyväskylän yliopisto. Hydrobiologian tutkimuskeskus. 31 s.
- Hakkari, L., Nyrönen, J., Selin, P. & Eloranta, A. 1978b: Päijänteen Asikkalanselän kalatalous- ja pohjaeläintutkimus vuonna 1977. Hydrobiologian tutkimuskeskuksen tiedonantoja 93: 1-35.
- Harjula, H. 1979: Analysis of errors in estimating phytoplankton primary productivity and chlorophyll a with special reference to Lake Päijänne. *Ann. bot. Fennici* 16: 307-337.
- Hellsten, S. 1982: Kuusamon Ala-Kitkan vesikasvien ja kasvillisuuden ekologiasta. Pro gradu-tutkielma. Oulun yliopisto. Kasvitieteen laitos. 109 s. + 11 liitt.
- Hellsten, S. 1997: Environmental factors related to water level fluctuation in two lakes of northern Finland. *Boreal Environmental Research* 2: 345-367.
- Hellsten, S., Palomäki, R. & Järvinen, E. 1997: Inarijärven vedenkorkeuden säännöstelystä ja sen vaikutuksista rantavyöhykkeellä. Lapin ympäristökeskuksen moniste 2: 1-77.
- Hellsten, S., Visuri, M. & Riihimäki, J. 1999b: Päijänteen säännöstelyvaihtoehtojen vaikutuksista Iitin Pyhäjärven kasvillisuuteen, haukikantaan ja linnustoon. Raportti. VTT Yhdyskuntatekniiikka. Oulu.
- Hellsten, S., Neuvonen, I., Keränen, R., Nykänen, M. & Alasaarela, E. 1989: Ekologiset näkökohdat joidenkin Pohjois-Suomen järvien säännöstelyssä. Osa 2. Rannan geomorfologia ja vesikasvillisuus. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Tiedotteita 986. 131 s. + liitteet 13 s.

- Hellsten, S., Partanen, S., Suoraniemi, M., Keto, A. & Palomäki, R. 1999a: Etelä-Päijänteen rantakasvillisuuden kehitys - onko umpeenkasvu todellista? Suomen ympäristö 296: 89-99.
- Hinneri, S. 1965: Tutkimuksia Sääksmäen Saarioisjärven umpeenkasvusta. Luonnon Tutkija 69: 64-73.
- Horppila, J., Malinen, T., Peltonen, H. & Ruuhijärvi, J. 1995: Kalastotutkimukset. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja, sarja A 218: 82-100.
- Hukki, M. 1955: Vertailevia floristis-ekologisia vesikasvitutkimuksia Paimelanlahdella ja Kukkilanselällä. Pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto. Ekologian ja systematiikan laitos. 119 s. + 12 liitt.
- Håkansson, L. 1977 a: The influence of wind, fetch and water depth on the distribution of sediments in Lake Vänern. Vatten 3: 266-289.
- Håkansson, L. & Jansson, M. 1983: Principles of lake sedimentology. Springer, Berlin. 316 p.
- Häyren, E. 1954: Wassere- und Uferpflanzen aus dem Päijänne-Gebiet. Acta Bot. Fenn. 53: 1-42.
- Ilmavirta, V. & Toivonen, H. 1986: Comparative studies on macrophytes and phytoplankton in ten small, brownwater lakes of different trophic status. Aqua Fennica 16: 125-142.
- Jones, R. 1972: Comparative studies of plant growth and distribution in relation to waterlogging. V. The uptake of iron and manganese by dune and dune slack plants. J. Ecol. 60: 131-139.
- Kairesalo, T. & Uusi-Rauva, A. 1983: Phosphorus release by an emergent macrophyte: significance to epiphyton. Proc. Int. Symp. Aquat. Macrophytes, Nijmegen, 18-23 September, 1983: 101-110.
- Keddy, P. A. 1983: Shoreline vegetation in Axe Lake, Ontario: effects of exposure on zonation patterns. Ecology 64: 331-344.
- Kemppainen, E. 1983: Jätevesien vaikutus Kymijoen ja Konniveden kasvistoon ja kasvillisuuteen Heinolassa (EH). Heinolan kaupungin julkaisuja. 114 s. + 52 liitettä.
- Keto, A. 1999: Järviruo'on kasvuolosuhteiden vertailu erilaisilla pohjan laaduilla Päijänteellä. Pro gradu - tutkielma. Helsingin yliopisto. Limnologian ja ympäristönsuojelun laitos. 46 s.
- Keto, A., Hellsten, S. & Eloranta, P. 1997: Päijänteen säännöstelyn kehittämisselvitys: rantojen ruovikoitumiseen vaikuttavat tekijät. Moniste. 3 s.
- Keto, J. & Sammalkorpi, I. 1995: Vesijärven kunnostuksen taustaa. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja, sarja A 218: 9-16.
- Konttinen, E. 1998: Hävinneetkin voittajia Päijänteen ympäristökamppailussa. Teoksessa: Hakkari, L. & Saukkonen, S. Päijänne suomalainen suurjärvi: 110-122.
- Korhonen, P. 1999: Päijänteen ja Konnivesi-Ruotsalaisen säännöstelyjen kehittäminen. Osa 1: Päijänteen säännöstelyn vaikutukset haukikantaan. Osa 2: Konnivesi-Ruotsalaisen säännöstelyn vaikutukset kalakantoihin ja kalastukseen. Suomen ympäristö 321.
- Koskimies, A. E. 1946: Korpilahden Kirkkolahden vesikasvilajistoa. Luonnon Ystävä 50(3): 94-95.
- Kuusisto, E. 1992: Suomen järvien tilavuus. Terra 104(1): 3-10.
- Kvet, J. & Hudec, K. 1971: Effects of grazing by grey-lag geese on reedswamp plant communities. Hydrobiologia 12: 351-359.
- Lammi, E. 1998: Päijänteen ja Vesijärven vesikasvivertailu. Raportti. 10 s.
- Lammi, E., Soppela, K. & Venetvaara, J. 1999: Päijänteen säännöstelyn kehittäminen. Säännöstelyn vaikutus lokkilintujen ja kuikan pesintään sekä piisamiin Päijänteellä. Suomen ympäristökeskuksen moniste 155.
- Lampolahti, J. 1991: Eutrofia Karvianjoen vesistöalueen järvissä. Järvien tyypittely ja vesikasvilajiston tarkastelu monimuuttujamenetelmin. Pro gradu -tutkielma. Turun yliopisto. Biologian laitos. 137 s.
- Lampolahti, J. 1992: Inhottujärven linnusto- ja kasvillisuusselvitys 1992. Inhottujärven kunnostustoimikunta, Tampereen vesi- ja ympäristöpiiri. Moniste. 30 s.
- Lampolahti, J. 1999: Kevättulvan vaikutus vesikasvillisuuteen - kahden satakuntalaisen järven vertailu. Luonnon Tutkija 4: 138-245.
- Lehtovaara, A. 1978: Päijänteen säännöstelyn vaikutusten selvittäminen. Kirjallisuusselvitys. Vesihallitus. Moniste. 28 s.
- Leppäjärvi, R. (toim.) 1993: Hydrologinen vuosikirja 1990. Vesi- ja ympäristöhallitus. Helsinki.
- Linnasalmi, A. 1944: Rehevää vesijättömaan kasvillisuutta Padasjoella kesinä 1941-42. Luonnon Ystävä 48(1): 232-233.
- Manni, K. 1953: Vesijärven kaakkoisrannan vesikasvistosta ja vesikasvillisuudesta. Pro gradu-tutkielma. Helsingin yliopisto. Ekologian ja systematiikan laitos. 146 s. + 40 liitt.

- Maristo, L. 1935: Näsijärven Aitolahden vesikasvillisuus. *Ann. Bot. Soc. Vanamo* 6(4): 1-55.
- Maristo, L. 1941: Die Seetypen Finnlands auf floristischer und vegetations-physiognomischer Grundlage. *Ann. Bot. Soc. Vanamo* 15: 1-314.
- Marttunen, M. & Järvinen, E. A. 1999: Päijänteen säännöstelyn kehittäminen, yhteenveto ja suositukset. *Suomen ympäristö* 357.
- Marttunen, M., Hellsten, S., Korhonen, P., Palomäki, R., Sinisalmi, T. & Valkeajärvi, P. 1996: Päijänteen säännöstelyn kehittämisselvitykset 1995-1998. Säännöstelyn vaikutukset vesiympäristöön, kalastukseen ja virkistyskäyttöön. Yhteenveto tutkimussuunnitelmasta. Muistio. 18 s.
- Marttunen, M., Hellsten, S., Puro, A., Huttula, E., Nenonen, M.-L., Järvinen, E., Salonen, E., Palomäki, R., Huru, H. & Bergman, T. 1997: Inarijärven tila ja siihen vaikuttavat tekijät. *Suomen ympäristö* 58: 1-195.
- Marttilainen, T. 1988: Fosforin vaihto sedimentin ja veden välillä litoraalin makrofyyttivyöhykkeessä. Pro gradu-tutkielma. Helsingin yliopisto. *Limnologian ja ympäristönsuojelun* laitos. 54 s.
- Mikkola - Roos, M. 1995. Lintuvesien kunnostus ja hoito. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja, sarja A 45.
- Niederholzer, R. & Hofer, R. 1980: The feeding of roach (*Rutilus rutilus* L.) and rudd (*Scardinius erythrophthalmus* L.). *Studies on natural populations*. -*Ekologia Polska* 28: 45-59.
- Niemi, R. A. 1990: Makrofyytit vesien tilan seurannassa. Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisusarja A 53.
- Nivalainen, M. 1995: Oulujärven kunnostuksen yleissuunnitelma. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 631.
- Nybom, C. 1988: Vesikasvien poiston koetoiminta vuosina 1972 - 1986. Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisuja 16, 77s.
- Nykänen, M. 1998: Oulujärven rantakasvillisuuden dynamiikka kaudella 1980 - 1995 ja siihen vaikuttavista ekologisista tekijöistä. Lisensiaattitutkielma. Oulun yliopisto. *Biologian* laitos. 59 s.+ liitt.
- Olkio, K. 1993: Keiteleen vedenlaatuselvitys 1993. Keski-Suomen maaseutukeskus ry., Keski-Suomen kalatalouskeskus. Moniste. 42 s.
- Ostendorp, W. 1989: 'Die back' of reeds in Europe- a critical review. *Aquatic Botany* 35: 5-26.
- Paasiltahti, S. 1949: Vuoden 1949 rantatutkimuksen muistiinpanot ja kartat. Suomen ympäristökeskuksen arkisto, Merenkulkuhallituksen arkisto.
- Päijänteen alueen vesien käytön kokonaissuunnitelma 1978. Vesi- ja ympäristöhallitus. *Tiedotus* 164: 1-358.
- Päijänteen säännöstelyn kehittämisselvitys. 1998. Tulvavahinkorajat ja niiden määrittämisperusteet. Vesirakentaja Oy. Raportti 15 s. + 5 liitt.
- Palomäki, R. 1992: Oulujärven rantatyyppien ja rantahabitaattien suhteellisten osuuksien arviointi. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 385: 1-31.
- Palomäki, R. 1993: Kalojen pohjaeläinravintovarojen arviointi. Vesi- ja ympäristöhallitus/Jyväskylän yliopisto, biologian laitos. Raportti. 57 s.
- Palomäki, R. 1995: Vedenkorkeuden vaihtelun vaikutus järven rantavyöhykkeen ekologiaan esimerkkijärvenä Päijänne. Keski-Suomen vesi- ja ympäristöpiiri. *Kirjallisuuskatsaus*. 28 s.
- Palomäki, R. & Hellsten, S. 1996: Littoral macrozoobenthos biomass in a continuous habitat series. *Hydrobiologia* 339: 85-92.
- Palomäki, R. & Hellsten, S. 1997: Päijänteen säännöstelyn vaikutuksista rantavyöhykkeen eliöyhteisöihin ja mahdollisuuksia rannan tilan parantamiseksi. Julkaisussa: Saukkonen, Sari (toim.) Päijänne seminaari 11.-12.4.1996. 5 p. Päijänne-luontokeskus ISBN 951-97789-0-X.
- Palomäki, R., Hellsten, S. & Marttunen, M. 1996: Päijänteen rantavyöhykkeen tila ja siihen vaikuttavat tekijät. *Tutkimusesitys*. Moniste 17 s.
- Petticrew, E. L. & Kalff, J. 1991: Predictions of surficial sediment composition in the littoral zone of lakes. *Limnol. Oceanogr.* 36: 384-392.
- Pogrepoff, S. 1989: Rantojen maatumisen ja vesikasvillisuus Kaipolan paperitehtaan jätevesien vaikutusalueella. I. Keski-Päijänteen vesikasvillisuudessa tapahtuneet muutokset ja kasvillisuuden merkitys rantojen maatumisen kannalta. Oy Keskuslaboratorio -Centrallaboratorium Ab. Julkaisematon seloste.
- Pogrepoff, S. 1992: Äänekosken reitin makrofyyttikasvillisuuden muutokset vv. 1984-1991. Oy Keskuslaboratorio -Centrallaboratorium Ab. Julkaisematon seloste.

- Pogrepoff, S. 1993: Ala-Keitele vesikasvistotutkimuksen kohteena. *Lutukka* 9: 25-28.
- Pogrepoff, S. 1998: Läntisen Keski-Päijänteen vesikasviston muutokset vv. 1974-1997. Oy Keskuslaboratorio -Centrallaboratorium Ab. Julkaisematon seloste.
- Pruuki, V., Pursianen, M. & Westman, K. 1983: Vähäarvoisten kalojen tehostetusta pyynnistä ja pyynnin vaikutuksista kalastoon Evon kalastuskoeaseman pienjärvisissä. *Suomen kalastuslehti* 90: 60-65.
- Rasmussen, J. B. 1988: Littoral zoobenthic biomass in lakes, and its relationships to physical, chemical, and trophic factors. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45: 1436-1447.
- Riihimäki, J. & Hellsten, S. 1997: Konnivesi - Ruotsalaisen säännöstelyn vaikutusten selvittäminen - Säännöstelyn vaikutukset rantavyöhykkeessä sekä esitys ekologiseksi säännöstelykäytännöksi. *Suomen ympäristö* 153.
- Rintanen, T. 1996: Changes in the flora and vegetation of 113 Finnish lakes during 40 years. *Ann. Bot. Fennici* 33: 101-122.
- Rørslett, B. 1989: An integrated approach to hydropower impact assesment. II. Submerged macrophytes in some Norwegian hydro-electric lakes. *Hydrobiologia* 175: 65-82.
- Sarvala, J. 1996: Limalevä, valkokatka, raakku ja rapu - miten sisävesien eliöstö on muuttunut. *Luonnon Tutkija* 5/1996: 29-47.
- Selin, P. & Hakkari, L. 1976: Arvio Pohjois-Päijänteen pohjaeläimistön tuotannosta ja merkityksestä kalanravintona. *Hydrobiologian tutkimuskeskuksen tiedonantoja* 72: 58-86.
- Sierla, J. 1994: Ruoppaus ja ruoppauslietteen käsittely. Vesistöjen kunnostus ja hoito seminaari 17-18.2.1994. Lahti. Esitelmä. 5 s.
- Sinisalmi, T., Mustonen, T. & Lahti, M. 1999: Päijänteen ja Konnivesi-Ruotsalaisen säännöstelyjen kehittäminen. Säännöstelyjen vaikutukset rantojen virkistyskäyttöön. *Suomen ympäristö* 308.
- Sirkka, P. V. 1949: Keiteleen vesikasvilajien ekologiaa. *Suomalaisen Eläin- ja Kasvitieteellisen Seuran Vanamon Kasvitieteellisiä julkaisuja*. Osa 23. N:o 2:1-42.
- Sjögren, B. 1933: Päijänteen ja Keiteleen säännöstely. Nidokset 1-4. Neuvotteleva Insinööri-toimisto Consulting. Helsinki.
- Suominen, J. 1997: Päijänteen vesikasvistosta ja sen muutoksista 1970-lukuun mennessä. *Suomen ympäristökeskuksen moniste* 66.
- Suoraniemi, M. & Hellsten, S. (toim.) 1997: Päijänteen säännöstelyn kehittämisselvitykset 1995-98. Rantavyöhykkeen tila ja siihen vaikuttavat tekijät. Väli raportti 1996. VTT, yhdyskuntateknikka, vesi- ja ekotekniikka. Oulu.
- Svärdson, G. 1976: Interspecific population dominance in fish communities of Scandinavian lakes. *Inst. Freshwater Res. Drottningholm* 55: 144-171.
- Ter Braak, C. J. F. 1987: 'CANOCO - a FORTRAN program for canonical community ordination by [partial] [detrended] [canonical] correspondence analysis, principal component analysis and redundancy analysis (Version 2.1). Agriculture mathematics group, Wageningen.
- Tikkanen, P., Kantola, L., Niva, T., Hellsten, S. & Alasaarela, E. 1989: Ekologiset näkökohdat joidenkin Pohjois-Suomen järvien säännöstelyssä. Osa 3. Järven pohjaeläimistö ja aikuisten kalojen ravinto. *VTT Tiedotteita* 987: 1-105.
- Toivonen, H. 1981: Sisävesien suurkasvillisuus. *Suomen luonto* 4:179-182.
- Toivonen, H. 1984: Makrofytyttien käyttökelpoisuus vesien tilan seurannassa. *Luonnon tutkija* 88: 92 - 95.
- Vaheri, E. 1932: Jyväsjärven kasvillisuus. *Ann. Bot. Soc. Vanamo* 3(1): 1-47.
- Valkeajärvi, P. & Raatikainen, M. 1988: Päijänteen ulappavesien kalastosta ja tehostuneen kalastuksen vaikutuksista vaellussiiian, ahvenen ja särjen kasvuun. *RKTL, kalantutkimusosasto*. Jyväskylä. Raportti. 36 s.
- van der Putten, W. H., Peters, B. A. & van den Berg, M. S. 1997: Effects of litter on substrate conditions and growth of emergent macrophytes. *New Phytol.* 135:527-537.
- Venetvaara, J. 1997: Seloste Päijänteelle perustetuista vesikasviseurantalinjoista. Biologitoimisto Jari Venetvaara ky. Raportti. 8 s. + 6 liitt.
- Weisner, S. E. B. 1987: The relation between wave exposure and distribution of emergent vegetation in a eutrophic lake. *Freshwater Biology* 18: 537-544.
- Weisner, S. E. B. 1990: Emergent vegetation in eutrophic lakes. Distributional patterns and ecophysiological constraints. Department of Ecology, Limnology, Lund University, Sweden. Dissertation, Lund 1990.

Liite I. Päijänteen tutkimuslinjojen koordinaattipisteet; normaalilinjat = N) ja erityislinjat =E.

| Linja | Itä -koordinaatti | Pohj.-koordinaatti | Linja | Itä -koordinaatti | Pohj.-koordinaatti |
|-------|-------------------|--------------------|-------|-------------------|--------------------|
| 0E | 3415900 | 6794500 | 162N | 3422430 | 6848000 |
| 2E | 3419000 | 6797040 | 167N | 3426510 | 6841000 |
| 5N | 3416000 | 6797600 | 173N | 3422000 | 6857570 |
| 10N | 3415000 | 6794940 | 178E | 3426980 | 6857000 |
| 14E | 3409000 | 6806900 | 179E | 3431000 | 6834730 |
| 16E | 3408800 | 6809000 | 185N | 3433000 | 6832000 |
| 18E | 3403000 | 6819740 | 187N | 3430120 | 6847000 |
| 20N | 3409160 | 6816000 | 192E | 3431000 | 6853000 |
| 22N | 3408000 | 6815460 | 197E | 3431460 | 6858000 |
| 24N | 3406600 | 6818000 | 202N | 3414430 | 6870000 |
| 27E | 3407250 | 6817000 | 205E | 3415000 | 6866240 |
| 28N | 3402860 | 6827000 | 207N | 3420000 | 6869730 |
| 30E | 3405440 | 6828000 | 210N | 3428000 | 6868250 |
| 33N | 3409000 | 6829240 | 213E | 3429000 | 6868000 |
| 38E | 3413000 | 6803660 | 214E | 3421600 | 6864000 |
| 39N | 3410380 | 6810000 | 215E | 3428260 | 6865000 |
| 40N | 3412800 | 6810000 | 218N | 3428700 | 6861000 |
| 41E | 3417000 | 6809640 | 220N | 3428000 | 6866390 |
| 43E | 3419160 | 6804000 | 226E | 3423770 | 6876000 |
| 45E | 3410750 | 6803000 | 229N | 3426000 | 6877200 |
| 51E | 3414530 | 6829000 | 230E | 3426000 | 6879600 |
| 52N | 3412950 | 6830000 | 233N | 3431260 | 6863000 |
| 56N | 3410850 | 6812000 | 237E | 3432250 | 6864000 |
| 57E | 3416000 | 6813430 | 238N | 3432520 | 6869000 |
| 60E | 3409080 | 6831000 | 241E | 3434000 | 6863760 |
| 63E | 3423000 | 6785660 | 243E | 3432000 | 6872820 |
| 66E | 3426000 | 6794000 | 244N | 3438180 | 6879000 |
| 69N | 3423860 | 6791000 | 245E | 3434120 | 6876000 |
| 70E | 3424000 | 6799200 | 246N | 3432000 | 6878450 |
| 73N | 3431000 | 6787290 | 249N | 3435560 | 6874000 |
| 77E | 3423510 | 6801000 | 250N | 3437470 | 6872000 |
| 79N | 3423000 | 6808450 | 256E | 3438620 | 6876000 |
| 82E | 3423000 | 6806460 | 258E | 3430160 | 6889000 |
| 83N | 3428000 | 6818280 | 260E | 3438000 | 6880430 |
| 84E | 3422000 | 6812820 | 261N | 3438000 | 6888700 |
| 87E | 3426000 | 6819690 | 263N | 3439500 | 6883000 |
| 89N | 3424470 | 6819000 | 264N | 3439300 | 6881000 |
| 91N | 3422320 | 6817000 | 269E | 3445780 | 6876000 |
| 93N | 3420660 | 6816000 | 270N | 3444000 | 6880710 |
| 97E | 3430520 | 6817000 | 276E | 3436000 | 6891230 |
| 102E | 3409000 | 6849570 | 277N | 3439000 | 6891910 |
| 103E | 3407590 | 6852000 | 278E | 3432000 | 6891320 |
| 109E | 3410000 | 6854050 | 281N | 3433000 | 6893320 |
| 118N | 3416000 | 6831230 | 282N | 3433000 | 6891720 |
| 122E | 3415000 | 6848490 | 288N | 3434000 | 6901270 |
| 124E | 3414000 | 6842380 | 289E | 3435730 | 6901000 |
| 132N | 3415170 | 6846000 | 290N | 3438000 | 6901850 |
| 142N | 3415000 | 6852860 | 293E | 3438950 | 6901000 |
| 145E | 3424700 | 6828000 | 296E | 3440460 | 6898000 |
| 155N | 3428140 | 6838000 | 300E | 3441360 | 6901000 |
| 159N | 3428000 | 6834720 | | | |

Liite 2. Keski-Keiteleen rantavyöhyketutkimuksen kohdealueet.

| Linja | Itä-koordinaatti | Pohj.-koordinaatti | Linja | Itä-koordinaatti | Pohj.-koordinaatti |
|-------|------------------|--------------------|-------|------------------|--------------------|
| 6 | 3451480 | 6984000 | 113 | 3443054 | 6968000 |
| 11 | 3454507 | 6980000 | 114 | 3444000 | 6966738 |
| 13 | 3451150 | 6985000 | 119 | 3445000 | 6964357 |
| 17 | 3444764 | 6990000 | 122 | 3449254 | 6963000 |
| 18 | 3442509 | 3445000 | 128 | 3448571 | 6965000 |
| 21 | 3444000 | 6988331 | 134 | 3448015 | 6969000 |
| 22 | 3443907 | 6987000 | 137 | 3440488 | 6969000 |
| 24 | 3445000 | 6985068 | 139 | 3450788 | 6968000 |
| 26 | 3448530 | 6983000 | 143 | 3453664 | 6968000 |
| 31 | 3447252 | 6980000 | 147 | 3462137 | 6965000 |
| 35 | 3446786 | 6984000 | 151 | 3461061 | 6964005 |
| 39 | 3440000 | 6981512 | 152 | 3462438 | 6965000 |
| 40 | 3440000 | 6980630 | 158 | 3450000 | 6960947 |
| 43 | 3449276 | 6989000 | 163 | 3469000 | 6959609 |
| 46 | 3439000 | 6981428 | 164 | 3467709 | 6959000 |
| 62 | 3447000 | 6972462 | 165 | 3470495 | 6959000 |
| 64 | 3446634 | 6973000 | 178 | 3446707 | 6994000 |
| 66 | 3446000 | 6974382 | 181 | 3457474 | 6975000 |
| 70 | 3442054 | 6973000 | 191 | 3445276 | 6999000 |
| 71 | 3442534 | 6972000 | 198 | 3447239 | 6995000 |
| 82 | 3457000 | 6975494 | 200 | 3449585 | 6958000 |
| 83 | 3458052 | 6974000 | 204 | 3453000 | 6952850 |
| 84 | 3457765 | 6974000 | 213 | 3441652 | 6965000 |
| 85 | 3455102 | 6975000 | 217 | 3442000 | 6966200 |
| 86 | 3458294 | 6975000 | 218 | 3454000 | 6970833 |
| 91 | 3457000 | 6973993 | 233 | 3441000 | 7004775 |
| 100 | 3461000 | 6972082 | 245 | 3441000 | 7004570 |
| 102 | 3461000 | 6972316 | 246 | 3443704 | 7002000 |
| 107 | 3439573 | 6965000 | 249 | 3442509 | 7001000 |
| 111 | 3442156 | 6968000 | 250 | 3453663 | 6968000 |

Liite 3. Eräiden kasvilajien suhtautuminen umpeenkasvuun (Hinneri 1965, Nykänen 1998) ja vedenkorkeuden vaihteluun (Hellsten ym. 1989, muita lähteitä).

Umpeenkasvun indikaattorit

Carex acuta
Carex rostrata
Carex vesicaria
Equisetum fluviatile
Phalaris arundinacea
Phragmites australis
Schoenoplectus lacustris
Sparganium erectum
Typha angustifolia
Typha latifolia

Tulvaa kestävät maakasvit

Alisma plantago-aquatica
Alopecurus aequalis
Bidens tripartita
Carex acuta
Carex rostrata
Carex vesicaria
Eleocharis palustris
Equisetum fluviatile
Galium palustre
Glyceria fluitans
Myosotis laxa
Peucedanum palustre
Polygonum amphibium
Potentilla palustris
Ranunculus reptans
Salix spp.

Kuivuutta kestävät vesikasvit

Crassula aquatica
Isoetes echinospora
Nuphar lutea
Nymphaea candida
Phragmites australis
Sagittaria sagittifolia
Subularia aquatica
Utricularia intermedia
Utricularia minor

Routivaa ja jäätyvää vyöhykettä karttavat lajit

Isoetes echinospora
Isoetes lacustris
Lobelia dortmanna
Nuphar lutea
Potamogeton natans

Routivalla ja jäänpainumavyöhykkeellä viihtyvät lajit

Alisma plantago-aquatica
Calamagrostis sp.
Callitriche sp.
Carex lasiocarpa
Carex rostrata
Chara sp.
Elatine hydropiper
Eleocharis acicularis
Eleocharis palustris
Equisetum fluviatile
Juncus alpinoarticulatus
Juncus bulbosus
Juncus filiformis
Lysimachia thyrsiflora
Molinia caerulea
Phragmites australis
Potentilla palustris
Ranunculus reptans
Sparganium juv.
Sparganium sp.
Subularia aquatica
Utricularia vulgaris

Liite 4. Päijänteen ja Keiteleen trofiaindikaattorit. Luokittelu on tehty joko Toivosen 1981 (*:llä merkityt), tai Toivosen 1984 (+:lla merkityt) mukaisesti. Muiden lajien luokittelu perustuu tekijöiden omiin havaintoihin. Indifferenttien ja oligo-eutrofanttien luokat voidaan myös yhdistää.

I. Oligotrofia

Isoetes echinospora
*Isoetes lacustris**
*Lobelia dortmanna**+
*Myriophyllum alterniflorum**+
Sparganium angustifolium
Sparganium minimum
Subularia aquatica+

II Oligo-mesotrofia

*Eleocharis acicularis**+
Eleocharis palustris+
*Juncus bulbosus**+
Littorella uniflora
Lysimachia thyrsiflora+
*Menyanthes trifoliata**
*Ranunculus reptans**+
*Utricularia intermedia**

III Mesotrofia

*Calliergon megalophyllum**+
*Callitriche palustris**+
*Caltha palustris**
*Cicuta virosa**
Crassula aquatica
Limosella aquatica
*Lythrum salicaria**
Myosotis laxa ssp. *cespitosa**
Potamogeton gramineus+
Potamogeton perfoliatus+
*Ranunculus flammula**
*Ranunculus peltatus**+
*Scirpus sylvaticus**
*Sparganium gramineum**+

IV Meso-eutrofia

*Alisma plantago-aquatica**+
*Bidens tripartita**
*Carex acuta**+
*Carex elata**
*Carex vesicaria**+
*Drepanocladus aduncus**+
*Drepanocladus tenuinervis**+
*Elatine hydropiper**+
*Elatine triandra**+
Elodea canadensis+
*Glyceria fluitans**
Hippuris vulgaris+

Iris pseudacorus+
Lemna minor+
*Nitella flexilis**+
*Nitella Wahlbergiana**
*Polygonum amphibium**+
*Potamogeton berchtoldii**+
*Potamogeton praelongus**
*Ranunculus lingua**+
Riccia fluitans+
Ricciocarpus natans+
*Sagittaria natans**
Sagittaria sagittifolia+
Schoenoplectus lacustris+
*Scholochloa festuacea**
*Typha latifolia**+

V Eutrofia

*Butomus umbellatus**+
*Carex pseudocyperus**+
*Ceratophyllum demersum**+
*Chara fragilis**
*Glyceria maxima**+
*Hydrocharis morsus-ranae**+
*Myriophyllum verticillatum**+
*Potamogeton obtusifolius**+
*Ranunculus sceleratus**
*Sparganium erectum**+
*Spirodela polyrhiza**+
*Typha angustifolia**+

VI Oligo-eutrofia

Carex rostrata+
Equisetum fluviatile+
*Fontinalis antipyretica**+
Nuphar lutea+
Nymphaea candida+
Phalaris arundinacea
Phragmites australis+
Potamogeton alpinus+
Potamogeton natans+
*Sparganium emersum**+
Utricularia vulgaris+

VII Indifferentit

*Alopecurus aequalis**
Calla palustris
Nymphaea alba
*Potentilla palustris**
*Utricularia minor**

Liite 5. Vuosina 1954 (Häyrén 1954), 1974 (Suominen 1997) ja 1996 havaittujen kasvilajien keskimääräinen yleisyys Päijänteellä sekä 1997 havaittujen kasvilajien keskimääräinen yleisyys Keiteleellä. Esitetty Päijänteen 1996 yleisyysjärjestyksessä. Umpeenkasvun indikaattorit lihavoitu. Piurun *) ja isosorsimon*) yleisyys arvioitu 1997 tarkistusten pohjalta.

| Yleisyys | Päijänne | | | Keitele | Etelä-Päijänne | | Keski-Päijänne | | Pohjois-Päijänne | |
|------------------------------|----------|------|------|---------|----------------|------|----------------|------|------------------|------|
| | 1954 | 1974 | 1996 | | 1974 | 1996 | 1974 | 1996 | 1974 | 1996 |
| Carex acuta | 11 | 87 | 92 | 83 | 85 | 93 | 82 | 85 | 89 | 90 |
| Lysimachia vulgaris | 1 | 0 | 83 | 42 | 0 | 80 | 0 | 90 | 0 | 76 |
| Salix sp. | 0 | 0 | 78 | 51 | 0 | 78 | 0 | 90 | 0 | 2 |
| Calamagrostis | 0 | 0 | 74 | 61 | 0 | 70 | 0 | 70 | 0 | 76 |
| Alnus incana/glutinosa | 0 | 0 | 69 | 42 | 0 | 73 | 0 | 80 | 0 | 56 |
| Lythrum salicaria | 5 | 40 | 69 | 66 | 25 | 73 | 36 | 75 | 56 | 61 |
| Phalaris arundinacea | 10 | 69 | 67 | 5 | 81 | 65 | 36 | 70 | 78 | 63 |
| Phragmites australis | 25 | 91 | 67 | 49 | 88 | 70 | 91 | 80 | 94 | 54 |
| Isoetes lacustris | 16 | 16 | 65 | 44 | 25 | 73 | 0 | 55 | 17 | 59 |
| Lysimachia thyrsiflora | 3 | 33 | 65 | 22 | 50 | 80 | 9 | 65 | 33 | 46 |
| Caltha palustris | 2 | 0 | 63 | 39 | 0 | 58 | 0 | 70 | 0 | 61 |
| Equisetum fluviatile | 13 | 78 | 62 | 66 | 81 | 60 | 55 | 65 | 89 | 56 |
| Nuphar lutea | 12 | 82 | 58 | 46 | 63 | 45 | 82 | 70 | 100 | 61 |
| Eleocharis acicularis | 12 | 62 | 55 | 39 | 75 | 50 | 0 | 50 | 89 | 56 |
| Carex vesicaria | 6 | 58 | 50 | 20 | 63 | 48 | 36 | 30 | 67 | 59 |
| Potamogeton perfoliatus | 13 | 84 | 50 | 32 | 100 | 48 | 36 | 35 | 100 | 51 |
| Alisma plantago-aquatica | 12 | 82 | 46 | 39 | 81 | 43 | 82 | 45 | 83 | 44 |
| Polygonum amphibium | 10 | 62 | 45 | 25 | 75 | 45 | 9 | 60 | 83 | 29 |
| Potentilla palustris | 1 | 0 | 45 | 86 | 0 | 33 | 0 | 55 | 0 | 46 |
| Myriophyllum alterniflorum | 18 | 38 | 40 | 34 | 69 | 55 | 0 | 45 | 28 | 17 |
| Myosotis laxa ssp. cespitosa | 0,3 | 0 | 39 | 7 | 0 | 23 | 0 | 55 | 0 | 41 |
| Galium palustre | 2 | 0 | 38 | 63 | 0 | 48 | 0 | 30 | 0 | 27 |
| Isoetes echinospora | 0,3 | 11 | 30 | 31 | 19 | 40 | 0 | 25 | 11 | 17 |
| Subularia aquatica | 13 | 38 | 30 | 25 | 56 | 40 | 0 | 25 | 44 | 2 |
| Juncus filiformis | 2 | 0 | 27 | 47 | 0 | 28 | 0 | 20 | 0 | 24 |
| Equisetum arvense | 0,7 | 0 | 26 | 8 | 0 | 23 | 0 | 35 | 0 | 20 |
| Potamogeton natans | 11 | 76 | 26 | 24 | 50 | 15 | 91 | 35 | 89 | 27 |
| Lobelia dortmanna | 5 | 18 | 25 | 51 | 50 | 45 | 0 | 20 | 0 | 2 |
| Ranunculus peltatus | 10 | 27 | 25 | 41 | 50 | 21 | 0 | 30 | 22 | 20 |
| Elatine hydropiper | 10 | 60 | 23 | 10 | 63 | 8 | 0 | 15 | 94 | 37 |
| Cladophora | 0 | 0 | 22 | 0 | 0 | 13 | 0 | 10 | 0 | 32 |
| Scutellaria galericulata | 0,7 | 0 | 20 | 34 | 0 | 8 | 0 | 10 | 0 | 0 |
| Iris pseudacorus | 2 | 22 | 19 | 5 | 31 | 23 | 0 | 30 | 28 | 7 |
| Nymphaea candida | 3 | 62 | 19 | 14 | 50 | 13 | 100 | 20 | 50 | 20 |
| Sparganium angustifolium | 0,3 | 0 | 19 | 0 | 0 | 10 | 0 | 10 | 0 | 27 |
| Ranunculus reptans | 20 | 38 | 18 | 58 | 56 | 5 | 0 | 25 | 44 | 22 |
| Littorella uniflora | 1 | 2 | 17 | 0 | 6 | 35 | 0 | 5 | 0 | 0 |
| Mentha arvensis | 2 | 0 | 16 | 15 | 0 | 3 | 0 | 20 | 0 | 22 |
| Agrostis stolonifera | 4 | 0 | 15 | 2 | 0 | 33 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Eleocharis palustris | 10 | 53 | 15 | 20 | 69 | 13 | 18 | 10 | 61 | 15 |
| Scolochloa festuacea* | 20 | 76 | 14 | 0 | 88 | 13 | 64 | 6 | 72 | 17 |
| Sagittaria sagittifolia | 8 | 51 | 14 | 27 | 75 | 8 | 0 | 0 | 61 | 24 |
| Scirpus sylvaticus | 0 | 0 | 14 | 0 | 0 | 15 | 0 | 15 | 0 | 0 |
| Sparganium gramineum | 2 | 24 | 13 | 25 | 44 | 15 | 0 | 5 | 22 | 10 |
| Ceratophyllum demersum | 8 | 31 | 13 | 0 | 0 | 13 | 0 | 15 | 78 | 7 |
| Lemna minor | 0,3 | 71 | 13 | 7 | 56 | 3 | 82 | 15 | 78 | 17 |
| Callitriche palustris | 5 | 51 | 12 | 0 | 85 | 3 | 9 | 15 | 61 | 15 |
| Stachys palustris | 0 | 9 | 12 | 0 | 13 | 8 | 18 | 20 | 0 | 7 |
| Peucedanum palustre | 0 | 0 | 11 | 42 | 0 | 18 | 0 | 5 | 0 | 2 |
| Carex rostrata | 1 | 36 | 10 | 10 | 25 | 5 | 36 | 5 | 44 | 12 |

Yleisyys

| | Päijänne | | | Keitele | Etelä-Päijänne | | Keski-Päijänne | | Pohjois-Päijänne | |
|---|----------|------|------|---------|----------------|------|----------------|------|------------------|------|
| | 1954 | 1974 | 1996 | 1997 | 1974 | 1996 | 1974 | 1996 | 1974 | 1996 |
| <i>Myriophyllum verticillatum</i> | 16 | 27 | 10 | 7 | 19 | 3 | 36 | 5 | 28 | 15 |
| <i>Elodea canadensis</i> | 10 | 29 | 9 | 25 | 25 | 13 | 0 | 5 | 50 | 2 |
| <i>Glyceria maxima*</i> | 2 | 53 | 8 | 2 | 13 | 8 | 82 | 4 | 72 | 10 |
| <i>Juncus alpinoarticulatus</i> | 0,7 | 0 | 8 | 22 | 0 | 5 | 0 | 5 | 0 | 7 |
| <i>Calla palustris</i> | 0,3 | 20 | 7 | 5 | 0 | 0 | 27 | 15 | 33 | 7 |
| <i>Glyceria fluitans</i> | 6 | 36 | 7 | 7 | 44 | 5 | 36 | 5 | 28 | 7 |
| <i>Ranunculus repens</i> | 1 | 0 | 7 | 7 | 0 | 5 | 0 | 5 | 0 | 5 |
| <i>Ricciocarpus natans</i> | 0,7 | 0 | 7 | 3 | 0 | 3 | 0 | 10 | 0 | 5 |
| <i>Sagittaria natans</i> | 2 | 58 | 7 | 15 | 44 | 8 | 27 | 10 | 89 | 0 |
| <i>Scorpidium scorpioides</i> | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 8 | 0 | 10 | 0 | 32 |
| <i>Bryum</i> | 0 | 0 | 6 | 63 | 0 | 8 | 0 | 5 | 0 | 0 |
| <i>Carex nigra</i> | 0 | 0 | 6 | 19 | 0 | 5 | 0 | 5 | 0 | 2 |
| <i>Stellaria palustris</i> | 0 | 0 | 6 | 7 | 0 | 5 | 0 | 10 | 0 | 0 |
| <i>järvisieni</i> | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| <i>Fontinalis hypnoides</i> | 0,3 | 11 | 5 | 0 | 6 | 3 | 0 | 5 | 22 | 2 |
| <i>Potamogeton gramineus</i> | 2 | 13 | 5 | 2 | 31 | 3 | 0 | 5 | 0 | 2 |
| <i>Sparganium emersum</i> | 5 | 78 | 5 | 14 | 44 | 0 | 91 | 5 | 100 | 7 |
| <i>Typha latifolia</i> | 0,7 | 18 | 5 | 2 | 38 | 3 | 9 | 0 | 6 | 5 |
| <i>Chara fragilis</i> | 0,3 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| <i>Nitella Wahlbergiana</i> | 3 | 0 | 4 | 0 | 0 | 3 | 0 | 5 | 0 | 0 |
| <i>Polygonum foliosum</i> | 0,3 | 29 | 4 | 0 | 25 | 3 | 36 | 5 | 28 | 0 |
| <i>Utricularia vulgaris</i> | 8 | 56 | 4 | 3 | 63 | 3 | 82 | 0 | 33 | 5 |
| <i>Drepanocladus capillifolius</i> | 0 | 2 | 3 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Elatine triandra</i> | 2 | 51 | 3 | 0 | 38 | 0 | 9 | 5 | 89 | 2 |
| <i>Fontinalis antipyretica</i> | 5 | 0 | 3 | 0 | 0 | 3 | 0 | 5 | 0 | 0 |
| <i>Juncus effusus</i> | 0,3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| <i>Potamogeton praelongus</i> | 0,3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 |
| <i>Alopecurus aequalis</i> | 4 | 29 | 2 | 5 | 31 | 0 | 36 | 5 | 22 | 0 |
| <i>Carex elata</i> | 1 | 29 | 2 | 0 | 44 | 3 | 27 | 0 | 17 | 0 |
| <i>Drepanocladus aduncus</i> | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Myosotis scorpioides</i> | 1 | 20 | 2 | 7 | 25 | 3 | 9 | 0 | 22 | 0 |
| <i>Nitella sp.</i> | 0 | 0 | 2 | 15 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Pohlia wahlenbergii</i> | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Potamogeton obtusifolius</i> | 3 | 47 | 2 | 0 | 31 | 3 | 82 | 0 | 39 | 0 |
| <i>Riccia fluitans</i> | 0 | 9 | 2 | 0 | 25 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Rhyncostechios ripanoides</i> | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 |
| <i>Sagittaria sp</i> | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| <i>Schoenoplectus lacustris</i> | 10 | 27 | 2 | 7 | 19 | 3 | 55 | 0 | 17 | 0 |
| <i>Sparganium sp.</i> | 0 | 0 | 2 | 25 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 15 |
| <i>Agrostis canina</i> | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| <i>Calliergon megalophyllum</i> | 0,3 | 27 | 1 | 7 | 31 | 0 | 0 | 0 | 39 | 2 |
| <i>Carex ovalis</i> | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| <i>Cicuta virosa</i> | 4 | 44 | 1 | 2 | 44 | 0 | 18 | 0 | 61 | 2 |
| <i>Epilobium palustre</i> | 0,7 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| <i>Hydrocharis morsus-ranae</i> | 0 | 11 | 1 | 0 | 6 | 0 | 18 | 0 | 11 | 2 |
| <i>Juncus glomeratus</i> | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| <i>Myrica gale</i> | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| <i>Polygonum hydropiper</i> | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| <i>Potamogeton alpinus</i> | 4 | 13 | 1 | 0 | 19 | 0 | 0 | 0 | 17 | 2 |
| <i>Sagittaria sagittifolia</i> spp. <i>vallisneriifolia</i> | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |

| Yleisyys | Päijänne | | | Keitele | Etelä-Päijänne | | Keski-Päijänne | | Pohjois-Päijänne | |
|---|----------|------|------|---------|----------------|------|----------------|------|------------------|------|
| | 1954 | 1974 | 1996 | 1997 | 1974 | 1996 | 1974 | 1996 | 1974 | 1996 |
| <i>Sparganium erectum</i> | 2 | 29 | 1 | 0 | 19 | 0 | 91 | 0 | 0 | 2 |
| <i>Typha angustifolia</i> | 1 | 7 | 1 | 0 | 6 | 0 | 18 | 0 | 0 | 2 |
| <i>Utricularia minor</i> | 0,7 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| <i>Viola montana</i> | 1 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| <i>Bidens tripartita</i> | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Butomus umbellatus</i> | 0,7 | 4 | 0 | 0 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Carex aquatilis</i> | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Carex echinata</i> | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Carex lasiocarpa</i> | 0 | 0 | 0 | 29 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Carex pseudocyperus</i> | 0,3 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Carex serotina</i> | 0 | 0 | 0 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Crassula aquatica</i> | 3 | 11 | 0 | 2 | 19 | 0 | 0 | 0 | 11 | 0 |
| <i>Drepanocladus tenuinervis</i> | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 | 0 |
| <i>Drepanocladus trichophyllus</i> | 0 | 11 | 0 | 2 | 13 | 0 | 0 | 0 | 17 | 0 |
| <i>Hippuris vulgaris</i> | 0,3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Juncus bulbosus supinus?</i> | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Limosella aquatica</i> | 0,3 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 0 |
| <i>Menyanthes trifoliata</i> | 0,3 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Molinia caerulea</i> | 0 | 0 | 0 | 34 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Nasturtium palustre</i> | 0,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Nitella flexilis</i> | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Nitella Nordstedtiana</i> | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Nitella opaca</i> | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Nymphaea alba</i> | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Nymphaea tetragona</i> | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Pedicularis palustris</i> | 0,7 | 0 | 0 | 24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Potamogeton berchtoldii</i> | 1 | 20 | 0 | 0 | 13 | 0 | 18 | 0 | 28 | 0 |
| <i>Potamogeton gramineusxperfoliatus</i> | 1 | 4 | 0 | 0 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Potamogeton natans var prolixus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Potamogeton panorminatus</i> | 0 | 2 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Prunus padus</i> | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Ranunculus flammula</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Ranunculus lingua</i> | 1 | 4 | 0 | 0 | 6 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Ranunculus sceleratus</i> | 0,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Rubus arcticus</i> | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Sparganium minimum</i> | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Sparganium simplex mod. longissima</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Sphagnum sp.</i> | 0 | 0 | 0 | 27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Spirodella polyrrhiza</i> | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 27 | 0 | 33 | 0 |
| <i>Utricularia intermedia</i> | 0,7 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 0 | 6 | 0 |
| <i>Viola palustris</i> | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Liite 6. Tilastollisten testien tulokset

Tulvavyöhykkeen eri kasvustojen leveys Päijänteen ja Keiteleen tulvavyöhykkeillä.
Havaintojen lukumäärät EP 40, KP 20, PP 41, Kei 59.

| Vertailupari | Ruohot | Pensaat | Puut | Sammalet |
|--------------|---------|---------|---------|----------|
| EP-KP | 0,8939< | 0,0597> | 0,9749< | 0,5507> |
| KP-PP | 0,7224< | 0,3866< | 0,7271> | 0,0391> |
| EP-PP | 0,5261< | 0,4330> | 0,8417> | 0,0033> |
| EP-Kei | 0,6221< | 0,5697< | 0,0000< | 0,0041< |
| KP-Kei | 0,8433< | 0,0132< | 0,0021< | 0,0261< |
| PP-Kei | 0,9133> | 0,1035< | 0,0020< | 0,0000< |

Eulitoraalin, ylimmän ja alimman sublitoraalin sukkessioidikaattorikasvustojen leveydet.
Havaintojen lukumäärä EP 40, KP21, PP40, Kei 59, paitsi alasublitoraali PP23.

| Vertailupari | eul ilmap. | eul kellusl. | ysl ilmap. | ysl kellusl. | asl ilmap. | asl kellusl. |
|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|
| EP-KP | 0,4281> | 0,1675< | 0,2878> | 0,0650> | 0,8887> | 0,2567> |
| KP-PP | 0,3359< | 0,6579> | 0,9938> | 0,3275> | 0,8190> | 0,0439> |
| EP-PP | 0,5334< | 0,3173< | 0,2551> | 0,2696> | 0,5497> | 0,1970> |
| EP-Kei | 0,0484< | 1,0000= | 0,3828> | 0,3928< | 0,2682> | 0,3414< |
| KP-Kei | 0,234< | 0,0937> | 0,6311< | 0,2401> | 0,6092> | 0,7209> |
| PP-Kei | 0,2874< | 0,2246> | 0,6084< | 0,7947> | 0,9831> | 0,0355< |

Kasvittumisaste Päijänteen ja Keiteleen eri rantavyöhykkeillä.

| Vertailupari | Tulvavyöhyke | Eulitoraali | Ylin sublitoraali | Alin sublitoraali |
|--------------|--------------|-------------|-------------------|-------------------|
| EP-KP | 0,442< | 0,4741> | 0,361> | 0,180< |
| KP-PP | 0,688> | 0,8993< | 0,950> | 0,066> |
| EP-PP | 0,675< | 0,5208< | 0,2410> | 0,431> |
| EP-Kei | 0,0000< | 0,0122< | 0,884< | 0,199< |
| KP-Kei | 0,0000< | 0,0138< | 0,296< | 0,805> |
| PP-Kei | 0,0000< | 0,0287< | 0,158< | 0,051< |

Ilmaversoisten tiheydet ja korkeudet Päijänteellä ja Keiteleellä.

| | Versotiheys Korte | Verson korkeus Korte | Versotiheys Ruoko | Verson korkeus Ruoko |
|--------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|
| <i>Eulitoraali</i> | | | | |
| EP-KP | 0,498> | 0,521> | 0,204< | 0,038< |
| KP-PP | 0,165< | 0,437< | 0,704< | 0,609< |
| EP-PP | 0,609> | 0,702< | 0,096> | 0,020< |
| EP-Kei | 0,250< | 0,005> | 0,194< | 0,371> |
| KP-Kei | 0,223< | 0,134> | 0,418< | 0,030> |
| PP-Kei | 0,388< | 0,006> | 0,412< | 0,006> |
| <i>Ylin sublitoraali</i> | | | | |
| EP-KP | 0,0847< | 0,977< | 0,598> | 0,755< |
| KP-PP | 0,4994< | 0,291> | 0,048< | 0,914< |
| EP-PP | 0,0244< | 0,530> | 0,063< | 0,691< |
| EP-Kei | 0,0275< | 0,000> | 0,725< | 0,001> |
| KP-Kei | 0,5569> | 0,000> | 0,583< | 0,002> |
| PP-Kei | 0,1697> | 0,000> | 0,264> | 0,005> |
| <i>Alin sublitoraali</i> | | | | |
| EP-KP | 0,417< | 0,538< | 0,974> | 0,014< |
| KP-PP | 0,143< | 0,986< | 0,327< | 0,810> |
| EP-PP | 0,033< | 0,546< | 0,248< | 0,452< |
| EP-Kei | 0,5142< | 0,000> | 0,906> | 0,000> |
| KP-Kei | 0,5525> | 0,000> | 0,945> | 0,000> |
| PP-Kei | 0,0063> | 0,000> | 0,333> | 0,005> |

Havaintojen lukumäärä ilmaversoisten versotiheyden ja korkeuden testeissä.

| | EP | KP | PP | Kei |
|-------------------|----|----|----|-----|
| Eulitoraali | | | | |
| Korte | 7 | 5 | 6 | 14 |
| Ruoko | 7 | 4 | 5 | 20 |
| Ylin sublitoraali | | | | |
| Korte | 12 | 8 | 16 | 46 |
| Ruoko | 19 | 12 | 12 | 29 |
| Alin sublitoraali | | | | |
| Korte | 10 | 7 | 13 | 44 |
| Ruoko | 20 | 11 | 14 | 39 |

Turpeen paksuus eulitoraalilla ja osuus eulitoraalin leveydestä.

| | Paksuus | Osuus |
|--------|---------|---------|
| EP-KP | 0,894< | 0,3749< |
| KP-PP | 0,403< | 0,9483< |
| EP-PP | 0,229< | 0,2229< |
| EP-Kei | 0,877> | 0,0073> |
| KP-Kei | 0,840> | 0,118> |
| PP-Kei | 0,339> | 0,0011> |

Turpeen osuus eulitoraalin leveydestä.

| | P |
|--------|-------------------|
| EP-KP | 0,8197> |
| KP-PP | 0,5327> |
| EP-PP | 0,5926> |
| EP-Kei | 0,0003> |
| KP-Kei | 0,0069> |
| PP-Kei | 0,0293> |

Turpeen paksuus ja osuus: havaintojen määrä.

| | Paksuus | Osuus |
|-----|---------|-------|
| EP | 24 | 23 |
| KP | 11 | 10 |
| PP | 20 | 19 |
| Kei | 15 | 13 |

Pohjan pehmeys eri rantavyöhykkeillä.

| | Eulitoraali | Ylin sublitoraali | Alin sublitoraali |
|--------|-------------|-------------------|-------------------|
| EP-KP | 0,1848< | 0,473< | 0,0000< |
| KP-PP | 0,8988> | 0,2206> | 0,001> |
| EP-PP | 0,0815< | 0,3210> | 0,758< |
| EP-Kei | 0,0000> | 0,0000> | 0,3763> |
| KP-Kei | 0,0000> | 0,0000> | 0,0000> |
| PP-Kei | 0,0000> | 0,0000> | 0,1608> |

Pohjan pehmeys: havaintojen määrä

| | Eulitoraali | Ylin sublitoraali | Alin sublitoraali |
|-----|-------------|-------------------|-------------------|
| EP | 105 | 97 | 104 |
| KP | 46 | 50 | 49 |
| PP | 90 | 105 | 90 |
| Kei | 110 | 235 | 215 |

Kaltevuus, muoto ja avoimuus Päijänteellä ja Keiteleellä.

| | EP-KP | KP-PP | EP-KP | EP-Kei | KP-Kei | PP-Kei |
|---------------|---------|---------|---------|-------------------|---------|-------------------|
| 3 m kalt. | 0,1162> | 0,0331< | 0,4940< | 0,0064> | 0,206> | 0,0003> |
| tulvav. kalt. | 0,479> | 0,666< | 0,704> | 0,9853> | 0,8229< | 0,3440< |
| eul kalt. | 0,338< | 0,8293> | 0,4785> | 0,5886< | 0,4168< | 0,2266< |
| ysl kalt | 0,211> | 0,5268> | 0,1282> | 0,6344> | 0,5462< | 0,1566< |
| asl kalt | 0,697> | 0,394< | 0,529< | 0,547< | 0,483< | 0,994< |
| muoto 1 km | 0,502< | 0,534> | 0,986> | 0,411< | 0,863> | 0,360< |
| muoto 0.5 | 0,222< | 0,345> | 0,654< | 0,090< | 0,996> | 0,192< |
| avoimuus | 0,575< | 0,644> | 0,893< | 0,581> | 0,298> | 0,485> |

Kaltevuuden, muodon ja avoimuuden havaintojen määrät.

| | EP | KP | PP | Kei |
|---------------|----|----|----|-----|
| 3 m kalt. | 34 | 19 | 38 | 52 |
| tulvav. kalt. | 39 | 20 | 41 | 58 |
| eul kalt. | 39 | 20 | 41 | 59 |
| ysl kalt | 39 | 20 | 41 | 59 |
| asl kalt | 39 | 20 | 24 | 59 |
| muoto 1 km | 39 | 20 | 41 | 59 |
| muoto 0.5 | 39 | 20 | 41 | 59 |
| avoimuus | 39 | 20 | 41 | 59 |

Liite 7. Kasvillisuuteen vaikuttavat ympäristötekijät.

Korrelaatiotestin tulokset (valuma-alueuuttajat & kasvillisuusmuuttajat). Rannan kasvillisuuteen vaikuttavien tekijöiden erottelu tehtiin aineiston ollessa normaalisti jakautunut käyttäen Pearsonin korrelaatiota ja jakauman ollessa vino käytettiin Spearmanin korrelaatiota. Jakauma oli miltei poikkeuksetta vino, normaalista jakautuneet (Pearson) analyysit kehystetty.

Kasvillisuusmuuttajat:

UINDEX = umpeenkasvuindeksi

UMAX = suurin yksittäisen umpeenkasvun indikaattorilajin peittävyys linjalla

UPEITT = umpeenkasvun indikaattorilajien keskipeittävyys linjalla

EINDEX = eutrofiaindeksi (ks. menetelmät tekstistä)

EPEITT = vrt. UPEITT

EMAX = vrt. UMAX

OINDEX = oligotrofiaindeksi (ks. menetelmät tekstistä)

OPEITT = vrt. UPEITT

OMAX = vrt. UMAX

PHRPEITT = järviruo'on peittävyys linjalla

KORTEKOR = järvikortekkorkeus

KORTETIH = järvikortetiheys

RUOKOKOR = järviruokokorkeus

RUOKOTIH = järviruokotiheys

ILMAVERS = ilmaversoisvyöhykkeen leveys linjalla (ks. menetelmät tekstistä)

Ympäristömuuttajat:

MUOTO1 = muoto 1 km

MUOTO0 = muoto 0,5 km

FETCH = avoimuus

NS = näkösyvyys kasvilinjan ulkopuolella

PELTOET = pellon etäisyys kasvilinjasta

PURKUET = purkupaikkojen etäisyys kasvilinjasta

RNNEKALT = rinnekaltevuus vesirajasta korkeuskäyrään m.p.y.

RNTAKALT = rannan kaltevuus vesirajasta n. 3 m:n syvyyteen

RAKLKM = rakennusten lukumäärä valuma-alueella

VALALA = valuma-alueen pinta-ala

PELTO% = pellon osuus lähivaluma-alueen pinta-alasta

KOK-N = lähimmän ulappapisteen veden typpipitoisuus

KOK-P = lähimmän ulappapisteen veden fosforipitoisuus

VÄRI = lähimmän ulappapisteen veden väri

VAL P-K = valuma-alueen fosforikuormitus

VAL N-K = valuma-alueen typpikuormitus

MAANKOH = maankohoamisnopeus

MAAPERÄ = rannan maaperä (1=turve, 2=moreeni, 3=harju, 4=kallio)

PÄIJÄNNE

| | E INDEX | E MAX | E PEITT | ilmavers. | KORTEKOR | KORTETIH | O INDEX | O MAX | O PEITT | Phr peitt | RUOKOKOR | RUOKOTIH | U INDEX |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|
| FETCH | -0.073 | -0.070 | -0.069 | -0.332*** | 0.095 | -0.028 | -0.007 | -0.005 | -0.061 | -0.015 | 0.167 | 0.027 | -0.237* |
| KOK-N | -0.191 | -0.193 | -0.187 | -0.154 | 0.083 | 0.168 | 0.016 | 0.047 | 0.000 | 0.000 | 0.166 | 0.023 | -0.128 |
| KOK-P | 0.288*** | 0.293*** | 0.281*** | 0.118 | -0.186 | 0.024 | -0.378*** | -0.362*** | -0.299*** | -0.154 | 0.110 | -0.095 | 0.159 |
| MAANKOH | 0.199* | 0.199* | 0.189 | -0.056 | 0.151 | 0.146 | -0.232* | -0.220* | -0.159 | -0.149 | 0.035 | 0.077 | 0.087 |
| MAAPERÄ | -0.239* | -0.237* | -0.238* | -0.332*** | -0.007 | -0.270** | -0.218* | -0.259** | -0.277** | -0.172 | -0.141 | -0.127 | -0.370*** |
| muoto 0,5 | -0.077 | -0.067 | -0.072 | -0.137 | -0.047 | -0.041 | -0.020 | -0.044 | -0.067 | 0.119 | 0.142 | 0.179 | -0.106 |
| MUOTO 1 | -0.181 | -0.177 | -0.180 | -0.279*** | -0.037 | -0.063 | -0.047 | -0.025 | -0.083 | -0.004 | 0.224 | 0.078 | -0.223* |
| NS | -0.279*** | -0.280*** | -0.272** | -0.150 | 0.309* | -0.074 | 0.432*** | 0.431*** | 0.336*** | 0.158 | -0.147 | 0.147 | -0.182 |
| PELTO% | 0.123 | 0.122 | 0.128 | 0.239* | 0.039 | 0.326*** | 0.051 | 0.042 | -0.032 | 0.000 | -0.120 | 0.103 | 0.179 |
| PELTOET | -0.167 | -0.170 | -0.167 | -0.103 | 0.134 | -0.088 | 0.077 | 0.092 | 0.112 | 0.173 | 0.133 | 0.049 | -0.075 |
| PURKUET | 0.232 | 0.239 | 0.232 | 0.022 | -0.272 | -0.258 | -0.045 | -0.066 | 0.050 | 0.215 | 0.346 | 0.168 | 0.051 |
| RAKLKJ | -0.238* | -0.238* | -0.231* | 0.047 | 0.387*** | 0.071 | 0.112 | 0.132 | 0.047 | 0.022 | -0.088 | 0.043 | -0.044 |
| RNNEKALT | -0.334*** | -0.329*** | -0.335*** | -0.215* | 0.116 | -0.034 | -0.135 | -0.099 | -0.077 | -0.144 | -0.027 | -0.132 | -0.205* |
| RNTAKALT | -0.321*** | -0.324*** | -0.329*** | -0.253* | 0.023 | -0.193 | 0.059 | 0.110 | 0.156 | -0.170 | 0.036 | -0.095 | -0.285*** |
| val. n-kuorm. | -0.018 | -0.017 | -0.011 | 0.168 | 0.274* | 0.197 | 0.092 | 0.097 | 0.014 | -0.037 | -0.097 | 0.071 | 0.051 |
| val. p-kuorm. | -0.099 | -0.094 | -0.096 | 0.124 | 0.194 | 0.093 | 0.081 | 0.096 | 0.044 | -0.038 | -0.070 | 0.071 | -0.012 |
| VALALA | 0.048 | 0.056 | 0.046 | 0.144 | 0.093 | 0.028 | -0.024 | -0.017 | 0.004 | -0.079 | -0.002 | 0.081 | 0.020 |
| VÄRI | 0.137 | 0.136 | 0.132 | 0.022 | -0.087 | 0.137 | -0.298*** | -0.271** | -0.209* | -0.089 | 0.294* | -0.009 | 0.145 |

KEITELE

| | E INDEX | E MAX | E PEITT | ilmavers. | KORTEKOR | KORTETIH | O INDEX | O MAX | O PEITT | Phr peitt | RUOKOKOR | RUOKOTIH | U INDEX |
|---------------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|---------|--------|---------|-----------|----------|----------|---------|
| FETCH | -0.089 | -0.089 | -0.089 | -0.080 | 0.166 | -0.139 | -0.073 | -0.092 | -0.190 | 0.096 | 0.026 | 0.040 | -0.064 |
| KOK-N | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.129 | -0.020 | 0.177 | -0.057 | -0.045 | -0.073 | 0.031 | 0.070 | 0.028 | 0.126 |
| KOK-P | 0.127 | 0.127 | 0.127 | 0.372*** | -0.090 | 0.151 | 0.050 | 0.059 | -0.011 | 0.162 | 0.041 | 0.116 | 0.248 |
| MAAPERÄ | 0.200 | 0.200 | 0.200 | 0.187 | -0.298 | 0.175 | -0.102 | -0.164 | -0.144 | 0.087 | -0.048 | 0.043 | 0.196 |
| muoto 0,5 | -0.004 | -0.004 | -0.004 | -0.029 | 0.459*** | 0.141 | 0.065 | 0.062 | -0.017 | 0.262* | 0.146 | 1.295* | -0.128 |
| MUOTO 1 | -0.209 | -0.209 | -0.209 | -0.146 | 0.351* | 0.251 | 0.060 | 0.096 | 0.007 | 0.354** | 0.136 | 1.409*** | 0.018 |
| NS | -0.378** | -0.378** | -0.378** | -0.258 | -0.003 | -0.161 | -0.032 | -0.066 | -0.023 | 0.028 | -0.098 | 0.019 | -0.192 |
| PELTO% | -0.119 | -0.119 | -0.119 | 0.145 | -0.019 | 0.107 | 0.186 | 0.180 | 0.114 | 0.247 | 0.015 | 0.313* | 0.203 |
| PELTOET | -0.006 | -0.006 | -0.006 | -0.158 | 0.210 | 0.096 | -0.110 | -0.033 | -0.113 | -0.235 | 0.144 | -0.236 | -0.122 |
| PURKUET | -0.111 | -0.111 | -0.111 | 0.014 | 0.200 | 0.117 | 0.129 | 0.162 | 0.095 | 0.008 | 0.054 | 0.076 | -0.018 |
| RAKLKJ | -0.049 | -0.049 | -0.049 | 0.174 | -0.108 | 0.216 | 0.103 | 0.032 | 0.116 | 0.002 | 0.070 | 0.013 | -0.025 |
| RNNEKALT | -0.173 | -0.173 | -0.173 | -0.215 | -0.037 | -0.060 | -0.108 | -0.133 | -0.187 | -0.154 | -0.131 | -0.183 | -0.164 |
| RNTAKALT | -0.154 | -0.154 | -0.154 | -0.342* | -0.142 | -0.357** | -0.298* | -0.244 | -0.278* | -0.034 | -0.026 | -0.093 | -0.282* |
| val. n-kuorm. | -0.073 | -0.073 | -0.073 | 0.172 | -0.054 | 0.136 | 0.243 | 0.209 | 0.157 | 0.237 | 0.091 | 0.310* | 0.215 |
| val. p-kuorm. | 0.209 | 0.209 | 0.209 | 0.189 | -0.006 | 1.138 | 0.224 | 0.198 | 0.161 | 0.194 | 0.286 | 1.243 | 0.260* |
| VALALA | 0.351** | 0.351** | 0.351** | 0.105 | 0.168 | 0.007 | 0.181 | 0.189 | 0.133 | 0.121 | 0.304 | 0.141 | 0.186 |
| VÄRI | 0.053 | 0.053 | 0.053 | 0.253 | -0.076 | 0.105 | -0.050 | -0.055 | -0.082 | 0.113 | -0.017 | 0.082 | 0.171 |

Liite 8/I. Eulitoraalin kasvilajit Vesijärven ja Päijänteen vertailulinjoilla. Vesijärveltä on mukana 21 näytepaikkaa, Päijänteeltä 100.

| | Vesijärvi Peitt. (%) | Frekv. (%) | Päijänne Peitt. (%) | Frekv. (%) |
|--------------------------------|-------------------------|------------|------------------------|------------|
| Umpeenkasvun ilmentäjät | | | | |
| Carex acuta | - | - | 16,1 | 58 |
| Carex rostrata | 9,8 | 29 | - | - |
| Carex vesicaria | - | - | 3,0 | 12 |
| Equisetum fluviatile | 2,7 | 33 | 1,0 | 13 |
| Phalaris arundinacea | - | - | 1,9 | 16 |
| Phragmites australis | 8,1 | 29 | 4,5 | 22 |
| Schoenoplectus lacustris | 0,1 | 10 | - | - |
| Sparganium erectum | 2,4 | 29 | - | - |
| Typha angustifolia | 2,1 | 14 | - | - |
| Typha latifolia | 1,1 | 10 | - | - |
| Peittävyyys yht. | | | | |
| / keskim. frekvenssi | 26,3 | 15,4 | 26,5 | 12,1 |
| Muut lajit | | | | |
| Agrostis spp. | 1,0 | 5 | 0,05 | 1 |
| Alisma plantago-aquatica | 1,1 | 24 | 0,45 | 6 |
| Calamagrostis | 1,5 | 14 | 4,0 | 20 |
| Calla palustris | 3 | 24 | - | - |
| Caltha palustris | - | - | 1,7 | 18 |
| Cicuta virosa | 2,7 | 43 | 0,7 | 5 |
| Drepanocladus capillifolius | - | - | 0,1 | 1 |
| Eleocharis acicularis | 1 | 5 | 0,4 | 1 |
| Eleocharis palustris | 1,1 | 10 | - | - |
| Epilobium palustre | 0,4 | 14 | - | - |
| Eleocharis mammillata | 0,03 | 5 | - | - |
| Equisetum arvense | - | - | 0,0 | 1 |
| Fontinalis hypnoides | - | - | 0,1 | 2 |
| Galium palustre | 1,5 | 24 | 0,1 | 3 |
| Galium trifidum | 1,3 | 24 | - | - |
| Glyceria maxima | 0,6 | 10 | - | - |
| Hippuris vulgaris | 0,1 | 10 | - | - |
| Hydrocharis morsus-ranae | 0,9 | 24 | - | - |
| Iris pseudacorus | 0,1 | 5 | 0,7 | 5 |
| Juncus alpinoarticulatus | - | - | 0,1 | 2 |
| Juncus filiformis | - | - | 0,1 | 2 |
| Lemna trisulca | 7,4 | 19 | - | - |
| Lemna minor | 5,5 | 43 | 0,1 | 5 |
| Littorella uniflora | 0,3 | 10 | - | - |
| Lycopus europaeus | 1,4 | 19 | - | - |
| Lysimachia thyrsiflora | 3,4 | 48 | 1,7 | 18 |
| Lysimachia vulgaris | 1,6 | 29 | 2,1 | 17 |
| Lythrum salicaria | 1,6 | 14 | 1,1 | 10 |
| Myosotis laxa | - | - | 1,1 | 6 |
| Myosoton aquaticum | 0,5 | 5 | - | - |
| Nymphaea candida | 0,2 | 5 | - | - |
| Peucedanum palustre | 0,9 | 29 | 0,1 | 1 |
| Polygonum amphibium | 0,3 | 24 | - | - |
| Polygonum hydropiper | 0,05 | 5 | - | - |
| Potamogeton alpinus | 0,4 | 10 | - | - |
| Potamogeton perfoliatus | - | - | 0,1 | 1 |
| Potentilla palustris | 1,6 | 24 | 1,5 | 9 |
| Ranunculus reptans | 0,2 | 14 | 0,3 | 30 |
| Ricciocarpus natans | 3,9 | 48 | 0,1 | - |
| Rorippa palustris | 0,2 | 10 | - | - |
| Scorpidium scorpioides | - | - | 0,3 | 2 |
| Scutellaria galericulata | - | - | 0,1 | 2 |
| Solanum | 1,3 | 19 | - | - |
| Sparganium minimum | 0,1 | 5 | - | - |
| Spirodella polyrrhiza | 5,4 | 29 | - | - |
| Stachys palustris | - | - | 0,4 | 4 |
| Utricularia intermedia | 0,3 | 14 | 0,03 | 1 |
| Yhteensä | 79,2 | | 43,8 | |
| Lajeja | 43 | | 32 | |

Liite 8/2. Ylimmän sublitoraalin kasvilajit Vesijärven ja Päijänteen vertailulinjoilla. Vesijärveltä on mukana 43 näytepaikkaa, Päijänteeltä 100.

| | Vesijärvi Peitt. (%) | Frekv. (%) | Päijänne Peitt. (%) | Frekv. (%) |
|---|-------------------------|------------|------------------------|------------|
| Umpeenkasvun ilmentäjät | | | | |
| Carex acuta | - | - | 1,7 | 11 |
| Carex rostrata | 1,6 | 7 | - | - |
| Carex vesicaria | - | - | 0,1 | 2 |
| Equisetum fluviatile | 3,7 | 40 | 2,7 | 28 |
| Phalaris arundinacea | - | - | - | - |
| Phragmites australis | 2,2 | 12 | 17,1 | 65 |
| Schoenoplectus lacustris | 0,7 | 7 | 1,4 | 5 |
| Sparganium erectum | 0,7 | 19 | - | - |
| Typha angustifolia | 2,5 | 9 | - | - |
| Typha latifolia | 0,4 | 5 | - | - |
| Peittävyys yht. / keskim. frekvenssi | 11,8 | 9,9 | 23,0 | 11,1 |
| Muut lajit | | | | |
| Alisma plantago-aquatica | 0,4 | 7 | 0,1 | 1 |
| Calla palustris | 0,3 | 2 | - | - |
| Calliergon megalophyllum | 0,1 | 2 | - | - |
| Callitriche hermaphrodita | 0,02 | 2 | - | - |
| Carex acuta | - | - | 1,7 | 11 |
| Carex rostrata | 1,6 | 7 | - | - |
| Carex vesicaria | - | - | 0,1 | 2 |
| Ceratophyllum demersum | 0,7 | 14 | - | - |
| Chara fragilis | 0,4 | 9 | - | - |
| Cicuta virosa | 0,4 | 5 | - | - |
| Drepanocladus tenuinervis | 8,3 | 35 | - | - |
| Elatine hydropiper | - | - | 0,02 | 2 |
| Eleocharis acicularis | 1,0 | 21 | 0,5 | 11 |
| Eleocharis palustris | 0,8 | 7 | 1,0 | 7 |
| Elodea canadensis | 8,3 | 42 | - | - |
| Eleocharis mammillata | 0,3 | 2 | - | - |
| Fontinalis hypnoides | 0,2 | 9 | - | - |
| Galium trifidum | 0,2 | 2 | - | - |
| Glyceria maxima | - | - | 1,2 | 7 |
| Hydrocharis morsus-ranae | 0,3 | 7 | - | - |
| Isoetes echinospora | 0,2 | 5 | 0,3 | 9 |
| Isoetes lacustris | - | - | 0,01 | 1 |
| Lemna trisulca | 13,9 | 42 | - | - |
| Lemna minor | 3,7 | 30 | - | - |
| Littorella uniflora | 0,8 | 5 | 0,1 | 4 |
| Lobelia dortmanna | 0,4 | 12 | 0,1 | 4 |
| Lycopus europaeus | 0,4 | 2 | - | - |
| Lysimachia thyrsiflora | - | - | 0,5 | 4 |
| Lythrum salicaria | 0,3 | 2 | - | - |
| Myriophyllum alterniflorum | 3,7 | 33 | - | - |
| Myriophyllum verticillatum | 0,2 | 5 | - | - |

| | Vesijärvi Peitt. (%) | Frekv. (%) | Päijänne Peitt. (%) | Frekv. (%) |
|--------------------------|-------------------------|------------|------------------------|------------|
| Nitella flexilis | 0,02 | 2 | - | - |
| Nuphar lutea | 1,6 | 21 | 0,3 | 2 |
| Nymphaea candida | 0,1 | 7 | - | - |
| Phragmites australis | 2,2 | 12 | 17,1 | 65 |
| Polygonum amphibium | 3,0 | 12 | 1,3 | 26 |
| Potamogeton filiformis | 3,0 | 23 | - | - |
| Potamogeton gramineus | 3,7 | 40 | - | - |
| Potamogeton natans | 3,4 | 26 | 0,6 | 3 |
| Potamogeton obtusifolius | 0,04 | 5 | - | - |
| Potamogeton perfoliatus | 0,9 | 19 | - | - |
| Potamogeton praelongus | 0,03 | 2 | - | - |
| Ranunculus peltatus | 0,1 | 5 | - | - |
| Ranunculus reptans | 0,8 | 2 | - | - |
| Riccia fluitans | 0,1 | 2 | - | - |
| Ricciocarpus natans | 3,2 | 23 | - | - |
| Sagittaria sagittifolia | 0,6 | 12 | - | - |
| Solanum | 0,03 | 2 | - | - |
| Sparganium emersum | 0,1 | 2 | - | - |
| Sparganium friesii | - | - | 0,1 | 2 |
| Spirodella polyrrhiza | 3,5 | 9 | - | - |
| Subularia aquatica | 0,02 | 2 | 0,6 | 10 |
| Utricularia vulgaris | 0,8 | 12 | 0,3 | 1 |
| Yhteensä | 82,6 | | 30,0 | |
| Lajeja | 51 | | 21 | |

Liite 8/3. Alimman sublitoraalin kasvilajit Vesijärven ja Päijänteen vertailulinjoilla. Vesijärveltä on mukana 43 näytepaikkaa, Päijänteeltä 100.

| | Vesijärvi Peitt. (%) | Frekv. (%) | Päijänne Peitt. (%) | Frekv. (%) |
|---|-------------------------|------------|------------------------|------------|
| Umpeenkasvun ilmentäjät | | | | |
| <i>Phragmites australis</i> | 12,1 | 27 | 12 | 56 |
| <i>Equisetum fluviatile</i> | 1,2 | 25 | 0,8 | 17 |
| <i>Schoenoplectus lacustris</i> | 2,5 | 11 | 2,8 | 10 |
| Peittävyys yht. / keskim. frekvenssi | 15,8 | 21,0 | 15,6 | 27,7 |
| Muut lajit | | | | |
| <i>Calliergon megalophyllum</i> | 0,01 | 2 | - | - |
| <i>Ceratophyllum demersum</i> | 1,2 | 30 | - | - |
| <i>Chara fragilis</i> | 0,2 | 9 | - | - |
| <i>Drepanocladus tenuinervis</i> | 3,8 | 43 | - | - |
| <i>Drepanocladus trichophyllus</i> | 0,02 | 2 | - | - |
| <i>Elatine hydropiper</i> | - | - | 0,02 | 2 |
| <i>Eleocharis acicularis</i> | 0,4 | 18 | 0,5 | 36 |
| <i>Eleocharis palustris</i> | - | 18 | 0,30 | 3 |
| <i>Elodea canadensis</i> | 6 | 50 | 0,01 | 1 |
| <i>Fontinalis antipyretica</i> | 0,5 | 11 | - | - |
| <i>Fontinalis hypnoides</i> | 1,4 | 11 | - | - |
| <i>Glyceria maxima</i> | - | - | 0,4 | 4 |
| <i>Isoetes echinospora</i> | 0,02 | 2 | 0,5 | 21 |
| <i>Isoetes lacustris</i> | 0,1 | 9 | 1,1 | 30 |
| <i>Lemna trisulca</i> | 4,2 | 23 | - | - |
| <i>Lemna minor</i> | 0,3 | 11 | - | - |
| <i>Littorella uniflora</i> | 1,2 | 18 | - | - |
| <i>Lysimachia thyrsiflora</i> | - | - | 0,2 | 1 |
| <i>Myriophyllum alterniflorum</i> | 8,0 | 43 | - | - |
| <i>Nitella flexilis</i> | 0,04 | 5 | - | - |
| <i>Nitella wahlbergiana</i> | 0,1 | 9 | - | - |
| <i>Nuphar lutea</i> | 1,3 | 20 | 1,2 | 9 |
| <i>Nymphaea candida</i> | 0,4 | 9 | 1,4 | 6 |
| <i>Polygonum amphibium</i> | 0,02 | 5 | 4,2 | 23 |
| <i>Potamogeton bertholdii</i> | 0,1 | 2 | - | - |
| <i>Potamogeton filiformis</i> | 0,6 | 11 | - | - |
| <i>Potamogeton gramineus</i> | 2,4 | 34 | - | - |
| <i>Potamogeton x zizii</i> | 0,3 | 2 | - | - |
| <i>Potamogeton lucens</i> | 0,1 | 7 | - | - |
| <i>Potamogeton natans</i> | 0,1 | 7 | 0,2 | 1 |
| <i>Potamogeton perfoliatus</i> | 1,5 | 20 | 0,5 | 5 |
| <i>Potamogeton praelongus</i> | 0,1 | 7 | - | - |
| <i>Ranunculus peltatus</i> | 1,1 | 5 | 0,1 | 1 |
| <i>Ranunculus reptans</i> | 0,2 | 30 | - | - |
| <i>Ricciocarpus natans</i> | 0,04 | 2 | - | - |
| <i>Rynchoschistos ripanoides</i> | 0,2 | 7 | - | - |
| <i>Sagittaria sagittifolia</i> | 0,4 | 14 | - | - |
| <i>Sparganium emersum</i> | 0,0 | 2 | - | - |
| <i>Sparganium minimum</i> | 0,2 | 2 | - | - |
| <i>Spirodella polyrrhiza</i> | 0,1 | 5 | - | - |
| <i>Subularia aquatica</i> | 0,1 | 2 | 0,9 | 29 |
| <i>Utricularia vulgaris</i> | 0,02 | 2 | 0,03 | 1 |
| Yhteensä | 52,8 | | 27,1 | |
| Lajeja | 50 | | 19 | |

Liite 9. Säännöstelyn osuus Päijänteen rantavyöhykkeen kunnostuskustannuksista. Laskelmien erittely.

| Laskennassa käytetyt lähtötiedot | | Arviointitapa (lähde) | |
|---|-------------------------|---|-----------------------|
| Niittokustannukset | 1500-3000 mk/ha | Laskettu (kirjallisuus, haastattelut) | |
| Ruoppauskustannukset | 10-20 mk/m ³ | Laskettu (kirjallisuus, haastattelut) | |
| Kiinteistöt (lkm) | 6500 | Laskettu (Korhonen ym. 1999) | |
| Kasvillisuuden lisääntyminen 50-90-luku | 35 - 50 % | Tutkimustulos | |
| Säännöstelyn osuus | 60% | Tutkimustulos | |
| Biotooppikunnostukset | 9,4 % rantaviivasta | Suojaisten monivyöhykkeisten lahtien osuus | |
| Kasvillisuusvyöhykkeen leveys (m) | 41 | Ilmakuvalukinta | |
| Käyttörannan leveys (m) | 15 | Arvio (perustuu toteutuneisiin kunnostuksiin) | |
| Ruoppaustarve (m) | 41 | Ilmakuvalukinta | |
| Ruoppauspaksuus (m) | 0.5 | Arvio (perustuu toteutuneisiin kunnostuksiin) | |
| Tarkastelujaksojen pituudet | | | |
| Virkistyskäyttöhaitan poisto | | Luonnontilan palauttaminen | |
| Ruovikot | joka vuosi | Lisääntyneen ruovikon poisto | 3 kertaa 10 vuodessa |
| Umpeenkasvu | joka 10 vuosi | Biotooppikunnostukset | kerran 20 vuodessa |
| Virkistyskäyttöhaitan poisto | | Luonnontilan palauttaminen | |
| Ruovikot | | Lisääntyneen ruovikon poisto | |
| Poistettu (%) | 38,6 | Ruovikon määrä tällä hetkellä (ha) | 5000 |
| Poistetun ruovikon pinta-ala (ha) | 154 | Ruovikko lisääntynyt (35-50 %) (ha) | 1174-1678 |
| Niittokustannus (mk) | 231 000-462 000 | Säännöstelyn osuus (60 %) (ha) | 705-973 |
| Säännöstelyn osuus 60 % (mk) | 49 000-134 000 | Niittokustannus (mk) | 1 057 000-2 919 000 |
| Vuosikustannus (mk) | 50 000-130 000 | Vuosikustannus (mk) | 320 000-880 000 |
| Umpeenkasvu | | Biotooppikunnostukset | |
| Ruopattu (%) | 19,9 | Kunnostetaan rantaviivasta 2,5 % (m) | 54514 |
| Ruopatun alueen pinta-ala (ha) | 25,87 | Kunnostetun rannan pinta-ala (ha) | 223 |
| Poistettava maamassa (m ³) | 265168 | Poistettu maamassa (m ³) | 1 117 537 |
| Ruoppauskustannukset (mk) | 2 652 000-5 303 000 | Kokonaiskustannus (mk) | 11 175 000-22 350 000 |
| Säännöstelyn osuus 50% (mk) | 1 326 000- 2 652 000 | Säännöstelyn osuus 50% (mk) | 5 588 000-11 175 000 |
| Vuosikustannus (mk) | 130 000-270 000 | Vuosikustannus (mk) | 270 000-540 000 |
| Vuosikustannus yhteensä (mk) | 180 000-400 000 | Vuosikustannus yhteensä (mk) | 590 000-1 420 000 |

Kuvailulehti

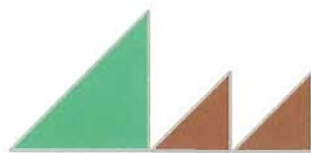
| | | |
|--|--|---------------------------------|
| Julkaisija | Suomen ympäristökeskus | Julkaisu-aika Maaliskuu 2000 |
| Tekijä(t) | Seppo Hellsten (toimittanut) | |
| Julkaisun nimi | Päijänteen säännöstelyn kehittäminen - Rantavyöhykkeen tila ja siihen vaikuttavat tekijät | |
| Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut | | |
| Tiivistelmä | <p>Vuosina 1995-1999 toteutetussa Päijänteen säännöstelyn kehittämisselvityksessä tutkittiin järven säännöstelyn vaikutuksia, arvioitiin säännöstelyn kehittämismahdollisuuksia ja esitettiin suosituksia säännöstelystä aiheutuvien haittojen vähentämiseksi. Rantavyöhykkeen tilaa ja siihen vaikuttavia tekijöitä käsittelevässä osatutkimuksessa keskityttiin erottelemaan viime vuosikymmenten aikana rannan tilaan vaikuttaneet tekijät. Päämenetelminä olivat kasvillisuustutkimukset, vanhojen tutkimusten ja ilmakuvien vertailu nykytilanteeseen sekä toisaalta säännöstelemättömien vertailujärvien käyttö.</p> <p>Tutkimuksessa havaittiin Päijänteen rantojen umpeenkasvun kiihtyneen voimakkaasti ravinnekuormituksen lisääntymisen ja säännöstelyn vuoksi. Rehevyyttä indikoivien lajien esiintyminen riippui selvästi vedenlaadusta, mutta umpeenkasvua indikoivien lajien suhde vesistön rehevöitymiseen oli epäselvä. Vertailujärvitutkimuksen avulla voitiin osoittaa erityisesti laaja-alaista umpeenkasvua aiheuttavan järviruo'on hyötyvän säännöstelyn myötä alentuneista alkukesän vedenkorkeuksista. Järviruo'on määrä oli vähäinen rehevillä vertailujärvillä, missä kevättulva oli voimakas. Lisäksi tulvasaraikon taantuminen vedenkorkeuden kesäaikaisen vaihtelun vähentymisen vuoksi on lisännyt ruovikon kasvualaa rannan yläosassa.</p> | |
| Asiasanat | Vesistöt, säännöstely, rehevöityminen, rannat, kasvillisuus, ekologia, vedenkorkeus, Päijänne, Keitele. | |
| Julkaisusarjan nimi ja numero | Suomen ympäristö 394 | |
| Julkaisun teema | Luonto ja luonnonvarat | |
| Projektihankkeen nimi ja projektinnumero | | |
| Rahoittaja/ toimeksiantaja | Suomen ympäristökeskus | |
| Projektiryhmään kuuluvat organisaatiot | <p>Suomen ympäristökeskus, VTT Yhdyskuntatekniikka, maa- ja metsätalousministeriö, Etelä-Savon ympäristökeskus, Kaakkois-Suomen ympäristökeskus, Hämeen ympäristökeskus, Pirkanmaan ympäristökeskus, Päijät-Hämeen liitto, Keski-Suomen liitto, Kymenlaakson liitto, Keski-Suomen TE-keskus, Päijänteen säännöstelytoimikunta, Etelä- ja Pohjois-Päijänteen kalastusalueet, Järvi-Suomen uittoyhdistys, Heinolan kaupungin ympäristötoimisto, Päijät-Hämeen kalamiespiiri, Maataloustuottajien Kymenlaakson liitto ry.</p> | |
| | ISSN 1238-7312 | ISBN 952 - 11 - 0673 -5 |
| | Sivu 167 | Kieli Suomi |
| | Luottamuksellisuus Julkinen | Hinta 130,00 mk |
| Julkaisun myynti/ jakaja | Oy Edita Ab julkaisun myynti, puh. (09) 566 0226, faksi (09) 566 0380 | |
| Julkaisun kustantaja | Suomen ympäristökeskus, PL 140, 00251 Helsinki | |
| Painopaikka ja -aika | Oy Edita Ab, Helsinki 1999 | |

Presentationensblad

| | | |
|--|--|----------------------------|
| Utgivare | Finlands miljöcentral | Datum Mars 2000 |
| Författare | Seppo Hellsten (red.) | |
| Publikationens titel | Utvecklingen av Päijänne-sjöns reglering - Strandzonens tillstånd och därpå verkande faktorer | |
| Publikationens delar/ andra publikationer inom samma projekt | | |
| Sammandrag | <p>I den under åren 1995-1999 gjorda utredningen av utvecklingen av Päijänne-sjöns reglering undersöktes effekterna av regleringen av sjön, bedömdes utvecklingsmöjligheterna av regleringen och presenterades rekommendationer för att minska skadorna av regleringen. I delundersökningen som gällde strandzonens tillstånd och därpå verkande faktorer låg tyngdpunkten på att skilja åt de faktorer som under de senaste årtiondena påverkat strandens tillstånd. De huvudsakliga metoderna var vegetationsundersökningar, jämförelse av gamla undersökningar och flygbilder med nuvarande tillstånd och dessutom användes oreglerade referenssjöar.</p> <p>I undersökningen observerades att igenväxningen av Päijännes stränder har ökat kraftigt på grund av den ökade näringsbelastningen och regleringen. Sådana arters förekomst, som indikerar eutrofiering, berodde tydligt på vattenkvaliteten, men sådana arters förhållande till vattnets eutrofiering, som indikerar igenväxning, var oklar. Genom referensundersökningen kunde man påvisa att i synnerhet vass, som orsakar vidsträckt igenväxning, gynnas av försommarens låga vattenstånd. I referenssjöarna förekom det sparsamt med vass, där vårfloeden var kraftig. Därtill hade vassen ökat sin areal då översvåmningsstarrängarna hade minskat som en följd av den minskade variationen i vattenståndet under sommaren.</p> | |
| Nyckelord | vattendrag, reglering, eutrofiering, stränder, vegetation, ekologi, vattenstånd, Päijänne, Keitele | |
| Publikationsserie och nummer | Miljö i Finland 394 | |
| Publikationens tema | Natur och naturtillgångar | |
| Projektets namn och nummer | | |
| Finansiär/ uppgångsgivare | Finlands miljöcentral | |
| Organisationer i projektgruppen | | |
| | ISSN 1238-7312 | ISBN 952 - 11 - 0673 -5 |
| | Sidantal 167 | Språk Finska |
| | Offentlighet Offentlig | Pris 130,00 FIM |
| Beställningar/ distribution | Oy Edita Ab telefon (09) 566 0266, telefax (09) 566 0380 | |
| Förläggare | Finlands miljöcentral, PO Box 140, FIN-00251 Helsingfors, FINLAND | |
| Tryckeri/ tryckningsort och -år | Oy Edita Ab, Helsingfors 1999 | |

Documentation page

| | | |
|--|--|----------------------------|
| Publisher | Finnish Environment Institute | Date March 2000 |
| Author(s) | Seppo Hellsten (editor) | |
| Title of publication | Development of regulation of Lake Päijänne – Present state of littoral zone and effects of different environmental factors. | |
| Parts of publication/ other project publications | | |
| Abstract | <p>In the development project carried out 1995-1999 the impacts of the regulation of Lake Päijänne have been studied, possibilities to improve the current regulation were assessed and recommendations to alleviate the adverse impacts of regulation have been presented. Attention was especially paid on state of littoral zone, which reflects easily the changes of water level fluctuation. The succession of littoral zone was evaluated by comparing the present aquatic vegetation to vegetation observed by old field studies and aerial photographs. In addition to these methods, several reference lakes were used to interpretate the effects of water level fluctuation.</p> <p>Present state of lake is affected by eutrophication and water level regulation. Aquatic vegetation reflects the changes in water quality, but on the other hand most harmful emergent species (e.g. <i>Phragmites australis</i>) were quite tolerant against increased nutrient content of water. However, it seems that the reed beds have expanded as a result of lowered early summer water level. Based on the results of the study, it was proposed that the water level regulation is a key factor affecting on increase of emergent vegetation.</p> | |
| Keywords | Water level regulation, eutrophication, littoral zone, vegetation, macrophytes, ecology, water level, Lake Päijänne | |
| Publication series and number | The Finnish Environment 357 | |
| Theme of publication | Nature and natural resources | |
| Project name and number, if any | | |
| Financier/ commissioner | Finnish Environment Institute | |
| Project organization | | |
| | ISSN 1238-7312 | ISBN 952 - 11 - 0673 -5 |
| | No. of pages 167 | Language Finnish |
| | Restrictions Public | Price 130,00 FIM |
| For sale at/ distributor | Edita Ltd tel. +358 9 566 0266, telefax + 358 9 566 0380 | |
| Financier of publication | Finnish Environment Institute, PO Box 140, FIN-00251 Helsinki, FINLAND | |
| Printing place and year | Edita Ltd, Helsinki 1999 | |



LUONTO JA LUONNONVARAT

Päijänteen säännöstelyn kehittäminen Rantavyöhykkeen tila ja siihen vaikuttavat tekijät

Vuosina 1995-1999 toteutetussa Päijänteen säännöstelyn kehittämishankkeessa on tutkittu järven säännöstelyn vaikutuksia, arvioitu säännöstelyn kehittämismahdollisuuksia ja esitetty suosituksia säännöstelystä aiheutuvien haittojen vähentämiseksi. Rantavyöhykettä koskevassa osatutkimuksessa keskityttiin erityisesti erottelemaan rannan tilaan vaikuttavat tekijät vanhojen tutkimusten ja ilmakuvien avulla sekä säännöstelemättömien vertailujärvien avulla.

Päijänteen rantojen umpeenkasvu näyttää kiihtyneen voimakkaasti ravinnekuormituksen lisääntymisen ja säännöstelyn alkamisen myötä. Vertailujärvitutkimuksen avulla voitiin osoittaa erityisesti laaja-alaista umpeenkasvua aiheuttavan järviruohon hyötyvän säännöstelyn myötä alentuneista alkukesän vedenkorkeuksista. Monet muut umpeenkasvua aiheuttavat lajit sen sijaan hyötyivät myös rehevöitymisestä.

ISBN 952-11-0673-5

ISSN 1238-7312

Oy EDITA Ab
PL 800, 00043 EDITA, vaihde (09) 566 01
ASIAKASPALVELU
puh. (09) 566 0266, telefax (09) 566 0380
EDITA-KIRJAKAUPAT HELSINGISSÄ
Annankatu 44, puh. (09) 566 0566
Eteläesplanadi 4, puh. (09) 662 801



9 789521 106736